

А. С. КУЗНЕЦОВ

ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

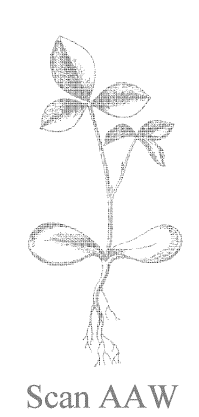
МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1042

А. С. КУЗНЕЦОВ

ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ



МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1981

ББК 32.842
К89
УДК 621.317.75

Кузнецов А. С.

К89 Трехканальный осциллограф. — М.: Радио и связь, 1981. — 72 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1042).

45 к.

Дано описание малогабаритного трехканального осциллографа с встроенным электронно-счетным частотомером. Подробно рассматриваются схемы узлов и блоков прибора, выполненного на полупроводниковых приборах и микросхемах широкого применения, а также его конструктивное исполнение. Поясняется порядок работы с прибором.

Рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

К $\frac{30405-173}{046(01)-81}$ 226-81 (Э.)   2402020000

ББК 32.842
6Ф2.08

Редакция научно-популярной литературы и Массовой радиобиблиотеки

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное приборостроение характеризуется применением элементов микроэлектроники, что позволяет уменьшить габариты, массу и потребляемую приборами мощность, значительно повысить надежность их работы. Применение интегральных микросхем в радиоизмерительных приборах позволило автоматизировать процесс измерения, расширить функциональные возможности и улучшить характеристики широко используемых в практике приборов (вольтметров, генераторов, осциллографов, частотомеров и др.), а также создать принципиально новые средства измерений, непохожие по схемным реализациям и свойствам на разработанные ранее приборы.

Интегральные схемы находят все большее применение и в радиолюбительских конструкциях. Примером этого может служить описываемый в настоящей книге прибор — трехканальный осциллограф с встроенным частотомером.

Электронно-лучевой осциллограф во многих случаях является основным прибором, без которого невозможны ремонт и настройка радиоаппаратуры. Он позволяет непосредственно на экране электронно-лучевой трубки наблюдать форму исследуемого сигнала и производить необходимую оценку его параметров. Для одновременного исследования нескольких электрических сигналов применяют многолучевые или многоканальные осциллографы. Осциллографы широко используют для исследования не только электрических, но и неэлектрических величин, предварительно преобразованных в пропорциональные им электрические сигналы.

Особенностью рассматриваемого в книге прибора является возможность измерения частоты исследуемого сигнала как с помощью осциллографа, так и встроенного в него электронно-счетного частотомера, у которого отсчет значения измеренной частоты производится на цифровом индикаторе.

Цель книги — познакомить читателей с принципом построения трехканального электронно-лучевого осциллографа с встроенным частотомером, схемным и конструктивным исполнением его узлов и блоков, выполненных на полупроводниковых приборах и интегральных схемах, а также дать основные сведения о методах измерений параметров электрических сигналов с помощью разработанного прибора.

Описание схемотехники и конструкции прибора выполнено с учетом возможности его повторения другими радиолюбителями. Книга представляет интерес для радиолюбителей-конструкторов радиоэлектронной аппаратуры и для лиц, занимающихся измерительной техникой.

Замечания и пожелания по книге просьба направлять по адресу: 101000, Москва, издательство «Радио и связь», Массовая радиобиблиотека.

Автор

НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ТРЕХКАНАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Трехканальный осциллограф состоит из осциллографа и встроенного частотомера и предназначен для одновременного исследования формы трех электрических сигналов путем визуального наблюдения и измерения их временных и амплитудных параметров. При этом частота (или период) одного из исследуемых сигналов может быть измерена встроенным электронно-счетным частотомером и отсчитана на его цифровом индикаторе.

В качестве осциллографического индикатора в приборе применена электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) 8Л029И.

Прибор имеет следующие технические характеристики: рабочая часть экрана осциллографа составляет 60 мм по горизонтали и 40 мм по вертикали. Ширина линии (толщина луча) не превышает 0,8 мм. Пределы перемещения луча по вертикали и горизонтали 40 мм; пределы перемещения линий развертки относительно друг друга по вертикали при работе осциллографа в трехканальном режиме 20 мм. Диапазон амплитуд исследуемых сигналов обеих полярностей 30 мВ — 120 В; с выносным делителем (1:10) 0,1—1200 В. Диапазон длительностей исследуемых импульсов 0,25 мкс — 250 мс; диапазон частот исследуемых периодических сигналов 2 Гц — 10 МГц.

Параметры входа усилителя вертикального отклонения следующие: вход открытый и закрытый; входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 40 пФ; входное сопротивление с выносным делителем 10 МОм, входная емкость 15 пФ. Коэффициент отклонения устанавливается ступенями: 10, 30, 100, 300 мВ/см; 1, 10, 30 В/см; имеется возможность плавного изменения коэффициента отклонения. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики тракта вертикального отклонения в диапазоне частот от 0 до 1 МГц не превышает 0,5 дБ; от 0 до 10 МГц — 3 дБ. Нелинейность амплитудной характеристики тракта вертикального отклонения не превышает 5%.

Погрешность измерения амплитуды импульсных сигналов при длительностях не менее 0,25 мкс и размере изображения от 20 до 30 мм не превышает ±10%. Погрешность измерения амплитуды гармонических сигналов в диапазоне частот от 2 Гц до 5 МГц не превышает ±15%.

Блок развертки имеет следующие калиброванные значения коэффициента длительности развертки: 250; 500 нс/см; 2,5; 5; 25; 50; 250; 500 мкс/см; 2,5; 5; 25 мс/см, каждое из указанных значений может быть увеличено в два, три, пять и десять раз (множитель ×1, ×2, ×3, ×5, ×10). Блок развертки работает в автоколебательном и ждущем режимах. Нелинейность рабочей части развертки не превышает 2%. Погрешность измерения временных интервалов с помощью осциллографа (по экрану ЭЛТ) не более 10% при длительностях от 1 мкс до 100 мс и размере изображения по горизонтали от 20 до 50 мм. Погрешность измерения частоты с помощью осциллографа ±10% в диапазоне частот от 10 Гц до 5 МГц при размере изображения по горизонтали от 20 до 50 мм. Внутренняя синхронизация развертки осуществляется исследуемым сигналом обеих полярностей при размере изображения не менее 2,5 мм в диапазоне частот от 2 Гц до 10 МГц. Внешняя синхронизация развертки осуществляется сигналами обеих полярностей длительностью не менее 0,2 мкс и амплитудой от 0,3 до 100 В.

Параметры входа усилителя горизонтального отклонения и входа внешней синхронизации следующие: а) вход открытый и закрытый; б) входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 40 пФ.

Калибровка развертки осциллографа по длительности осуществляется путем подачи на его вход прецизионных по длительности импульсов прямоугольной формы частотой 100 Гц, 1 и 10 кГц от встроенного калибратора.

Коэффициент отклонения усилителя горизонтального отклонения устанавливается шестью ступенями: 0,3; 1; 3; 10; 30; 100 В/см; предусмотрена возможность плавного изменения коэффициента отклонения. Полоса пропускания усилителя горизонтального отклонения от 2 Гц до 1,5 МГц на уровне 3 дБ — относительно 1 кГц (для оконечного каскада, на который непосредственно подается напряжение от генератора развертки), полоса пропускания от 2 Гц до 5 МГц на уровне 2 дБ — относительно 1 кГц.

Условия эксплуатации: температура окружающей среды 10—40°С, относительная влажность не более 80% при +20°С. Время самопрогрева прибора 15 мин. Питается прибор от сети переменного тока напряжением 220±22 В частотой 50±0,5 Гц. Потребляемая прибором мощность не превышает 50 В·А.

Габариты: 320×140×280 мм; масса 9 кг.

Технические характеристики электронного коммутатора и частотомера приведены далее при описании их принципиальных схем.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Структурная схема прибора приведена на рис. 1. В его состав входят: однолучевой осциллограф, трехканальный электронный коммутатор, электронно-счетный частотомер и блок питания.

Прибор может работать в двух режимах: одноканальном (исследуется один электрический сигнал) и трехканальном (исследуется одновременно до трех электрических сигналов). Частота одного из исследуемых сигналов в любом режиме работы может быть измерена частотомером и отсчитана на его цифровом индикаторе.

При работе осциллографа в одноканальном режиме, когда переключатель рода работы $1\text{-}B_1$ находится в положении *1КР*, исследуемый сигнал подается на гнездо *Вход Y* и в зависимости от положения переключателя $1\text{-}B_2$ (см. рис. 2) поступает непосредственно или через конденсатор $1\text{-}C_1$ на вход канала вертикального отклонения, где усиливается до напряжения, необходимого для подачи на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ *YY'*. В состав канала вертикального отклонения входят аттенюатор и усилитель вертикального отклонения, имеющий два каскада усиления — предварительный и оконечный.

С выхода предварительного усилителя сигнал поступает на схему синхронизации (внутренняя синхронизация), входящую в состав канала горизонтального отклонения, который включает также генератор развертки, аттенюатор и усилитель горизонтального отклонения луча (предварительный и оконечный). Для запуска генератора развертки может быть использован и внешний сигнал, который в этом случае подается на гнездо *Вход X* и, пройдя через аттенюатор и предварительный усилитель канала горизонтального отклонения, поступает на схему синхронизации (внешняя синхронизация). Схема синхронизации предназначена для обеспечения надежного запуска генератора развертки, вырабатывающего пилообразное напряжение, которое усиливается до необходимого значения оконечным каскадом усилителя горизонтального отклонения и подается на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ *XX'*.

В приборе предусмотрена возможность подачи внешнего развертывающего сигнала на горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ через усилитель горизонтального отклонения. В этом случае внешний сигнал подается на гнездо *Вход X*, а оконечный каскад усилителя горизонтального отклонения отключается от генератора развертки и подключается к предварительному усилителю при помощи переключателя $5\text{-}B_1$.

Устройство подсвета и гашения луча вырабатывает импульсы, которые подаются на модулятор ЭЛТ и осуществляют либо подсвет луча во время прямого хода развертки, либо его гашение при обратном ходе развертки.

Для наблюдения двух или трех сигналов одновременно исследуемые сигналы подаются на входы *А*, *В*, *С* электронного коммутатора. При этом пере-

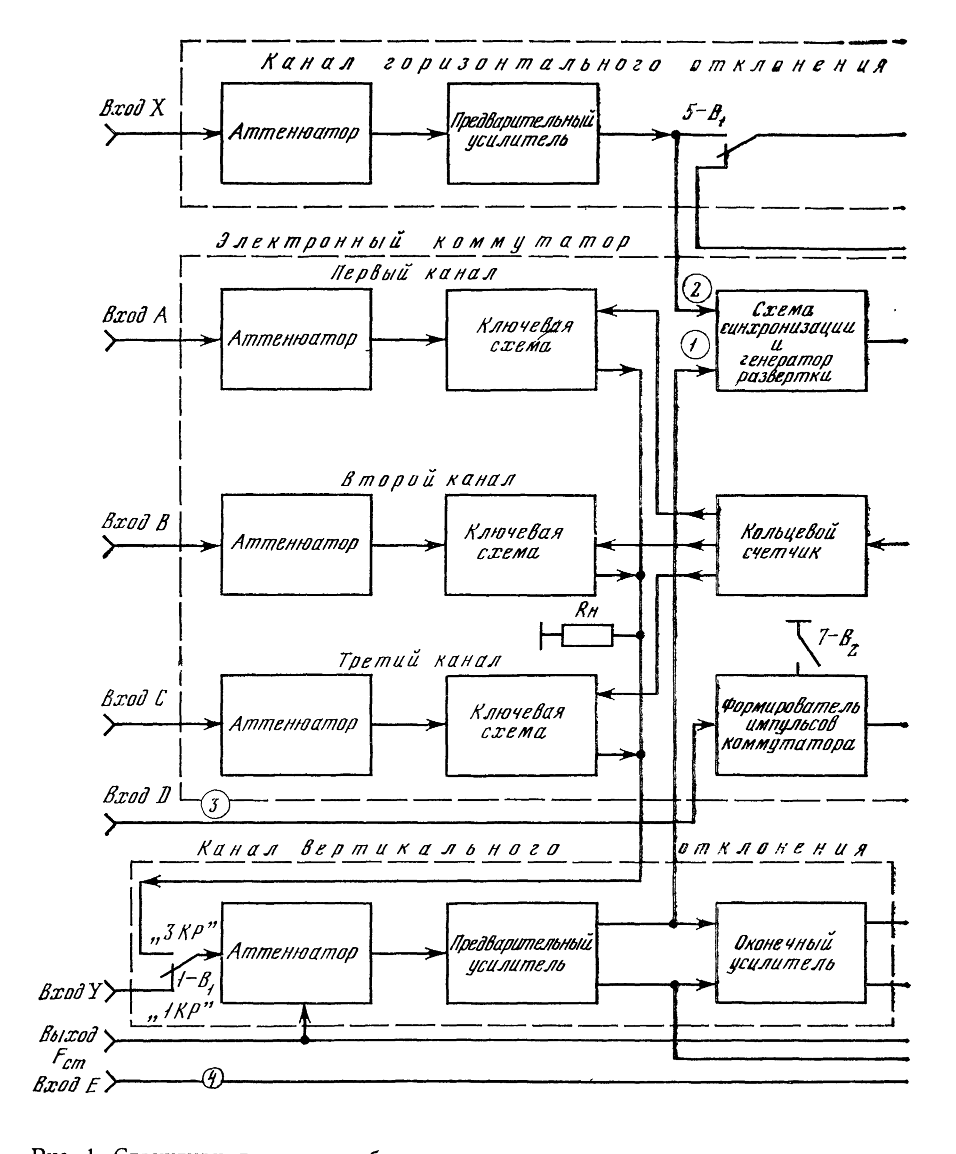
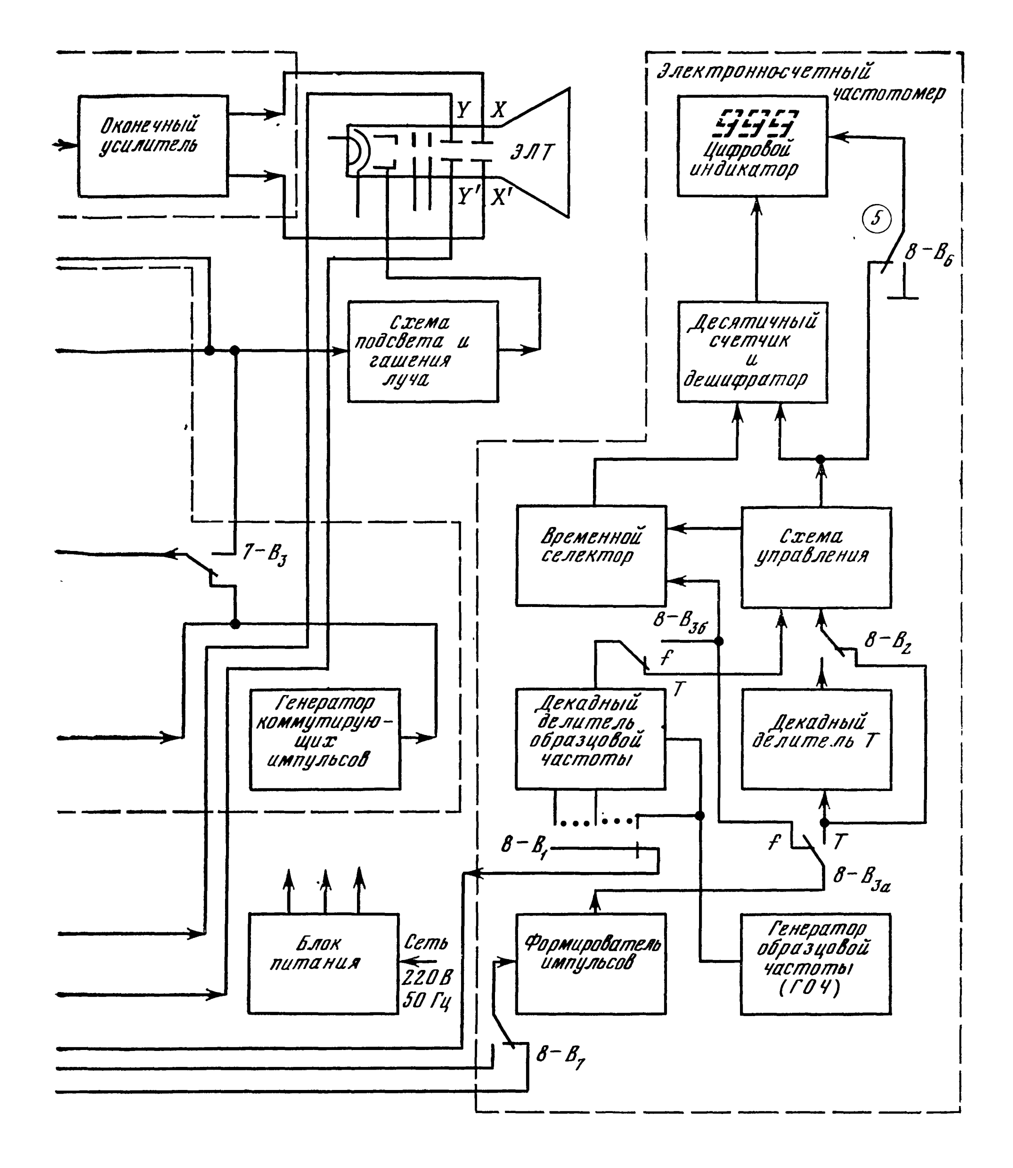


Рис. 1. Структурная схема прибора:

1 — сигнал внутренней синхронизации; 2 — сигнал внешней синхронизации; 3 — выходной 4 — сигнал калибровки по длительности; 5 — сигнал гашения цифрового индикатора

ключатель рода работы $1\text{-}B_1$ устанавливается в положение трехканального режима $3КР$. В состав коммутатора входят: три идентичных канала передачи исследуемых напряжений; кольцевой счетчик; генератор коммутирующих импульсов и формирующее устройство. Все три канала электронного коммутатора собраны по единой схеме и имеют в своем составе аттенюатор и ключевую схему. Выходы всех трех каналов подключены к общей нагрузке $R_н$, с которой исследуемые сигналы поочередно, в определенной последовательности, подаются на вход канала вертикального отклонения осциллографа. Последовательность подключения каналов определяется кольцевым счетчиком. Импульсы на счет-



сигнал электронного коммутатора, подаваемый на вход канала вертикального отклонения; частотомера.

чик подаются через переключатель 7-B_3 с генератора развертки (импульсы обратного хода луча) или в зависимости от положения переключателя 7-B_2 с генератора коммутирующих импульсов, представляющего собой мультивибратор, работающий в автоколебательном режиме, или — от формирующего устройства, на *Вход D* которого подаются импульсы от внешнего генератора. В качестве внешних импульсов для запуска коммутатора можно использовать сигналы, снимаемые с декадного делителя встроенного частотомера (выход «$F_{ст}$»).

Встроенный частотомер позволяет одновременно с наблюдением формы исследуемого сигнала, отображаемого на экране ЭЛТ, измерять его частоту (или период) и отсчитывать ее значение на цифровом индикаторе. Исследуемый сигнал подается на частотомер либо с выхода предварительного усилителя канала вертикального отклонения осциллографа, либо непосредственно на *Вход Е* через переключатель $8\text{-}B_7$.

В основу частотомера положен метод подсчета количества периодов измеряемого сигнала за образцовый интервал времени. Преимуществами данного метода измерения являются: высокая точность измерения, возможность автоматизации процесса измерения и отсчет результатов измерений непосредственно в цифровой форме.

В состав частотомера входят: формирователь импульсов, генератор образцовой частоты, декадный делитель образцовой частоты, декадный делитель временного интервала (делитель T), временной селектор, схема управления (автоматика), десятичный счетчик, дешифратор и цифровой индикатор. Частотомер может работать в двух режимах — измерения частоты и измерения периода исследуемого сигнала.

В режиме измерения частоты, когда переключатель $8\text{-}B_3$ находится в положении f, сигнал, частота f_x которого измеряется, подается на вход формирователя. С выхода формирователя импульсы прямоугольной формы частотой f_x подаются на вход временного селектора через переключатель $8\text{-}B_{3а}$. На второй вход селектора с декадного делителя образцовой частоты, осуществляющего деление частоты образцового генератора, через схему управления и переключатель $8\text{-}B_{3б}$ подается импульсный сигнал точно известной длительности $T_{об}$. Для уменьшения погрешности измерения длительность $T_{об}$ выбрана в приборе достаточно большой (0, 1и 1 с). Временной селектор представляет собой схему совпадения с двумя входами, на один из которых подаются импульсы частотой f_x, а на второй — импульс $T_{об}$.

В момент временного совпадения этих импульсов на выходе селектора появляются импульсы, число N которых зависит от f_x и $T_{об}$; при $T_{об}=\text{const}$ это число пропорционально f_x. Количество импульсов N подсчитывается десятичным счетчиком и индицируется цифровым индикатором. Отсчет результата измерений в единицах частоты (Гц, кГц) обеспечивается выбором $f_{ГОЧ}$ (генератора образцовой частоты) и длительности $T_{об}$.

В целях повышения точности при измерении низких частот с помощью электронно-счетного частотомера целесообразно измерять не частоту, а соответствующий ей интервал времени — период колебаний. В режиме измерения периода переключатель $8\text{-}B_3$ устанавливается в положение T. Узлы частотомера включаются таким образом, что происходит заполнение измеряемого (или увеличенного в n раз) периода импульсами, частота которых точно известна.

Измеряемый период подается на вход формирователя, с выхода которого через переключатель $8\text{-}B_{3а}$ поступает на схему управления непосредственно, когда $8\text{-}B_2$ замкнут, или через декадный делитель T, который увеличивает длительность измеряемого периода в 10 или 100 раз. Далее измеряемый (или увеличенный) период подается на один из выходов временного селектора, на другой вход которого с декадного делителя образцовой частоты подаются импульсы с частотой $f_{ГОЧ}$ или $f_{ГОЧ}:10$. На выходе селектора появляются импульсы, число которых пропорционально измеряемому интервалу. Количество этих импульсов подсчитывается десятичным счетчиком и индицируется цифровым индикатором.

Для увеличения точности измерений периода частоту образцового генератора выбирают по возможности более высокой (в данном приборе 1 МГц или 100 кГц).

С выхода декадного делителя образцовой частоты снимаются импульсы прямоугольной формы стандартных частот через переключатель $8\text{-}B_1$, которые подаются на аттенюатор канала вертикального отклонения и используются для калибровки и проверки осциллографа и других целей. Эти сигналы снимаются с выхода $F_{ст}$.

Блок питания обеспечивает узлы осциллографа необходимыми напряжениями при подключении его к сети 220 В, 50 Гц.

ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ТРЕХКАНАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

АТТЕНЮАТОР КАНАЛА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Аттенюаторы предназначены для ослабления исследуемых сигналов с заданной точностью. В данном приборе они выполнены по схеме частотно-компенсированного делителя напряжения. Делитель напряжения, выполненный на постоянных резисторах, не обеспечивает постоянства коэффициента деления в широком диапазоне частот из-за паразитных емкостей — разделенной емкости резистора, емкости монтажа, входной емкости усилителей. Чтобы компенсировать действие этих емкостей и сохранить неизменным коэффициент деления в диапазоне рабочих частот резисторы, образующие делитель напряжения, шунтируют конденсаторами. Шунтирующие емкости подбирают так, чтобы коэффициент деления делителя в диапазоне частот имел то же значение, что и при постоянном токе.

Если аттенюатор имеет несколько ступеней деления, то настройка такого многоступенчатого делителя трудоемка. Поэтому в приборе применены аттенюаторы, у которых для каждого предела используется отдельный делитель напряжения, состоящий из двух постоянных резисторов и шунтирующих конденсаторов. Это позволяет довольно просто осуществить частотную коррекцию делителя в широком диапазоне частот.

Аттенюаторы прибора для каналов вертикального и горизонтального отклонения и для каналов *A*, *B*, *C* электронного коммутатора аналогичны по схемам и различаются в основном числом ступеней деления. Поэтому рассмотрим более подробно аттенюатор канала вертикального отклонения, имеющего наиболее сложную схему. Этот аттенюатор (рис. 2) состоит из восьми отдельных делителей, подключение которых осуществляется с помощью переключателя $1\text{-}B_3$. Сопротивления резисторов аттенюатора $1\text{-}R_2$, $1\text{-}R_{15}$ и емкость конденсаторов на входе каждого делителя $1\text{-}C_2$—$1\text{-}C_8$ подобраны так, что обеспечивается одно и то же входное сопротивление и входная емкость прибора независимо от положения переключателя $1\text{-}B_3$. Входное сопротивление аттенюатора равно 1 МОм, а входная емкость — 40 пФ. Входная емкость зависит от входной емкости делителя, входной емкости усилителя вертикального отклонения и емкости монтажа. С помощью конденсаторов $1\text{-}C_9$—$1\text{-}C_{15}$ осуществляется подстройка частотной характеристики аттенюатора в полосе рабочих частот. Конденсаторы $1\text{-}C_{16}$—$1\text{-}C_{21}$ — шунтирующие.

УСИЛИТЕЛЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

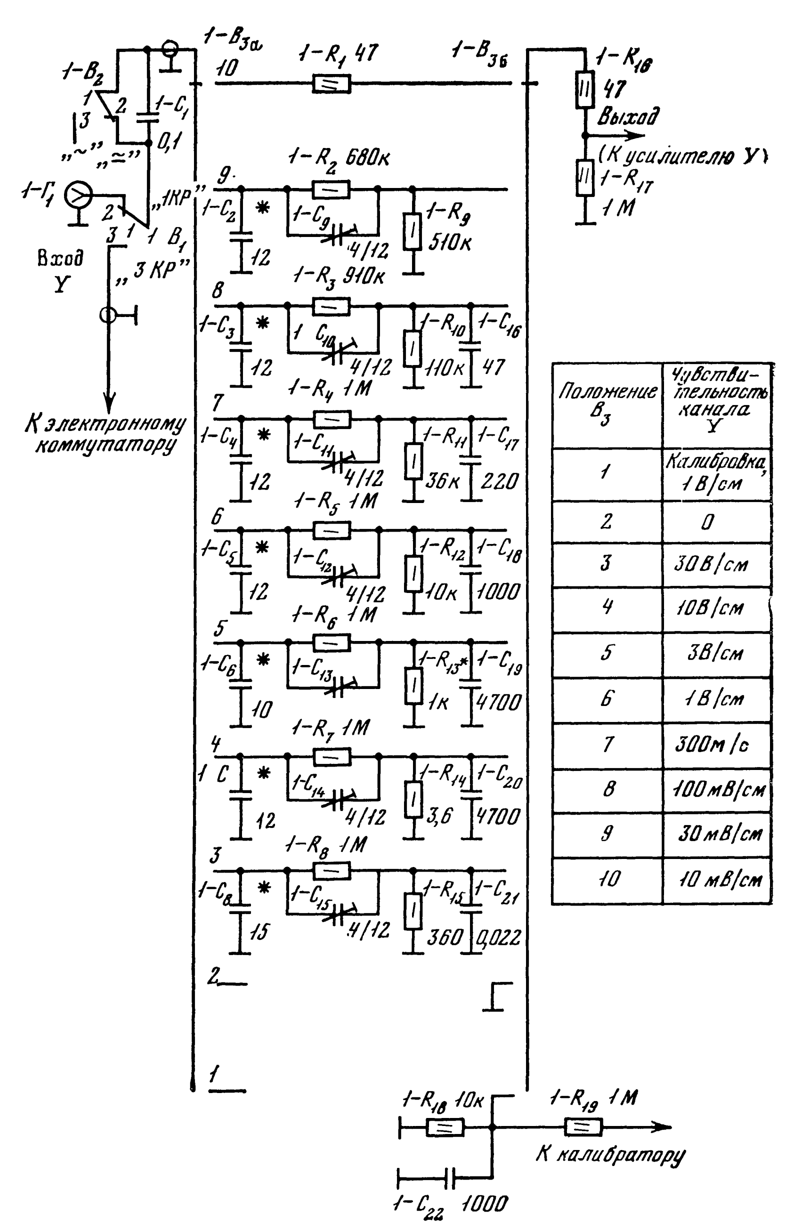
Основное назначение осциллографа — получение качественного изображения исследуемых сигналов, поэтому к усилителю канала вертикального отклонения предъявляются требования незначительных фазовых, частотных и амплитудных искажений сигнала при достаточно большом коэффициенте усиления.

Частотные и фазовые искажения, возникающие в усилителе на высоких частотах, обусловлены в основном влиянием межэлектродных емкостей транзисторов и емкостью монтажа, а в области низких частот — межкаскадными связями. Для расширения частотного диапазона сигналов, усиливаемых с минимальными искажениями, в усилительных каскадах применяют специальные схемы коррекции. Амплитудные искажения обусловлены нелинейностью характеристик элементов, на которых выполнены усилители, например транзисторов.

Выходной каскад усилителя вертикального отклонения строится обычно по двухтактной схеме. При этом значительно уменьшаются искажения, улучшается фокусировка луча, а главное — от каждого из плеч выходного каскада требуется вдвое меньшее выходное напряжение, что особенно важно для осциллографов, выполненных на транзисторах.

Принципиальная схема усилителя вертикального отклонения осциллографа показана на рис. 3. Он выполнен по схеме усилителя постоянного тока на транзисторах $2\text{-}T_1$—$2\text{-}T_{20}$.

Для обеспечения большого входного сопротивления, малой входной емкости и малого температурного дрейфа первый его каскад выполнен по симмет-



Положение $В_3$	Чувствительность канала Y
1	Калибровка, 1 В/см
2	0
3	30 В/см
4	10 В/см
5	3 В/см
6	1 В/см
7	300 м/с
8	100 мВ/см
9	30 мВ/см
10	10 мВ/см

Рис. 2. Схема аттенюатора канала вертикального отклонения.

ричной схеме на истоковых повторителях — полевых транзисторах $2\text{-}T_1$ и $2\text{-}T_2$. Резистор $2\text{-}R_2$ и диоды $2\text{-}Д_1$—$2\text{-}Д_4$ служат для защиты транзистора $2\text{-}T_1$ от перегрузок со стороны входа. Последовательное соединение диодов $2\text{-}Д_1$—$2\text{-}Д_4$ позволяет значительно снизить входную емкость первого каскада.

Потенциометр $2\text{-}R_4$, подключенный к цепям истоков транзисторов $2\text{-}T_1$ и $2\text{-}T_2$, используется для балансировки усилителя.

Для снижения выходного сопротивления истокового повторителя служит симметричный каскад, выполненный по схеме эмиттерного повторителя на транзисторах $2\text{-}T_3$ и $2\text{-}T_4$.

Последующие каскады усиления выполнены по фазоинверсной схеме с эмиттерной связью на транзисторах $2\text{-}T_5$—$2\text{-}T_8$. Транзистор $2\text{-}T_{19}$, включенный в эмиттерные цепи $2\text{-}T_5$ и $2\text{-}T_6$, является стабилизатором тока и служит для улучшения симметрии выходного напряжения, снимаемого с каскада. Подстроечный резистор $2\text{-}R_{21}$ служит для регулировки чувствительности, а с помощью потенциометра $2\text{-}R_{25}$ может осуществляться плавная регулировка усиления при замкнутом положении переключателя $2\text{-}B_1$. Для согласования предварительного и оконечного усилителей, выполненных на транзисторах $2\text{-}T_{11}$ и $2\text{-}T_{18}$, $2\text{-}T_{20}$, включены согласующие эмиттерные повторители ($2\text{-}T_9$ и $2\text{-}T_{10}$).

Для обеспечения стабильности коэффициента усиления, расширения полосы пропускания, а также для увеличения входного и уменьшения выходного сопротивлений, предварительный усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью по напряжению через резисторы $2\text{-}R_{20}$, $2\text{-}R_{23}$ и конденсаторы $2\text{-}C_5$, $2\text{-}C_6$. Для этой же цели служит и обратная связь по току через $2\text{-}R_{21}$, $2\text{-}R_{22}$, $2\text{-}R_{25}$, $2\text{-}R_{26}$, $2\text{-}R_{28}$, $2\text{-}C_{12}$.

Выходной каскад оконечного усилителя выполнен по схеме с общим коллектором на транзисторах $2\text{-}T_{13}$ и $2\text{-}T_{14}$. Широкая полоса пропускания оконечного усилителя достигается применением динамической нагрузки — транзисторов $2\text{-}T_{15}$, $2\text{-}T_{17}$ и корректирующих дросселей $2\text{-}L_1$, $2\text{-}L_2$. Для коррекции частотной характеристики применяется также и обратная связь по току в цепи эмиттеров транзисторов $2\text{-}T_{11}$ и $2\text{-}T_{12}$.

Перемещение луча по вертикали осуществляется с помощью потенциометра $2\text{-}R_{57}$ путем изменения потенциала на базах транзисторов $2\text{-}T_{16}$ и $2\text{-}T_{18}$, что вызывает изменение тока, протекающего через транзисторы $2\text{-}T_{11}$ и $2\text{-}T_{12}$.

С эмиттерных нагрузок транзисторов $2\text{-}T_{13}$ и $2\text{-}T_{14}$ выходного каскада исследуемый сигнал поступает на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ Y, Y'.

Возможность гальванической связи с источником исследуемых сигналов (при открытом входе) позволяет оценивать постоянную составляющую сигналов, а также использовать осциллограф для исследования не только переменного, но и постоянного напряжения.

С эмиттерной нагрузки транзистора $2\text{-}T_9$ усиленный входной сигнал подается на схему синхронизации и на формирующее устройство частотомера, на выходы *А* и *Б* соответственно.

Карта напряжений усилителя вертикального отклонения приведена в табл. 1.

Таблица 1

Транзистор	Напряжение на электродах, В			Транзистор	Напряжение на электродах, В		
	Коллектор (сток)	Эмиттер (исток)	База (затвор)		Коллектор (сток)	Эмиттер (исток)	База (затвор)
$2\text{-}T_1$ КП303Б	+7,5	+1,6	0	$2\text{-}T_{11}$ КТ602Б	+55	−1,5	+4,5
$2\text{-}T_2$ КП303Б	+7,5	+1,6	0	$2\text{-}T_{12}$ КТ602Б	+55	−1,5	+4,5
$2\text{-}T_3$ КТ306В	+7,5	+0,8	+1,6	$2\text{-}T_{13}$ КТ602Б	+72	+48	+55
$2\text{-}T_4$ КТ306В	+7,5	+0,8	+1,6	$2\text{-}T_{14}$ КТ602Б	+72	+48	+55
$2\text{-}T_5$ КТ315Г	+5,0	−0,7	+0,8	$2\text{-}T_{15}$ КТ801А	+72	+58	+65
$2\text{-}T_6$ КТ315Г	+5,0	−0,7	+0 8	$2\text{-}T_{16}$ КТ801А	+72	+65	+68
$2\text{-}T_7$ КТ315Г	+5,2	+4,2	+5,0	$2\text{-}T_{17}$ КТ801А	+72	+58	+65
$2\text{-}T_8$ КТ315Г	+5,2	+4,2	+5,0	$2\text{-}T_{18}$ КТ801А	+72	+65	+68
$2\text{-}T_9$ КТ315Г	+12	+4,5	+5,0	$2\text{-}T_{19}$ КТ315Г	−5,5	−5,5	−6,0
$2\text{-}T_{10}$ КТ315Г	+12	+4,5	+5,0	$2\text{-}T_{20}$ КТ801А	−5,8	−5,8	−12

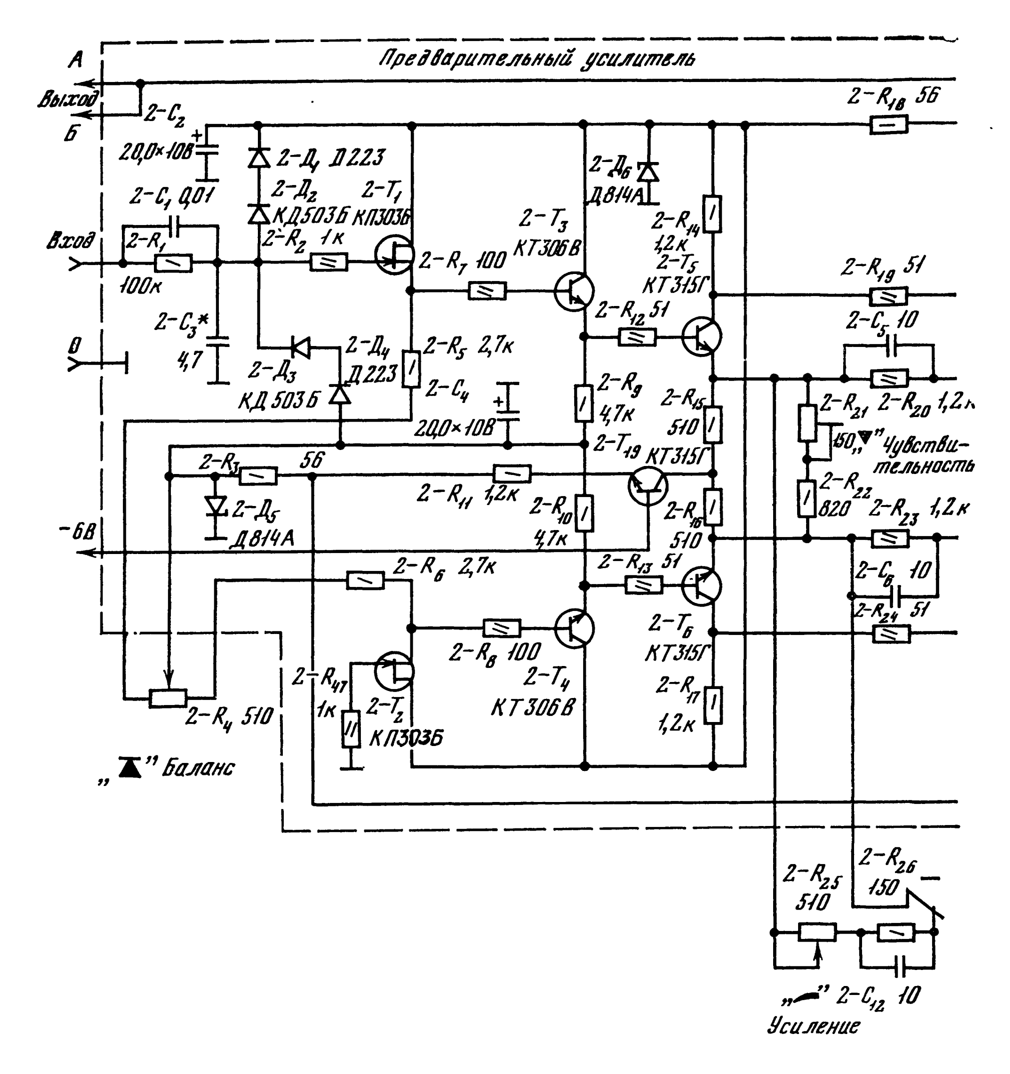
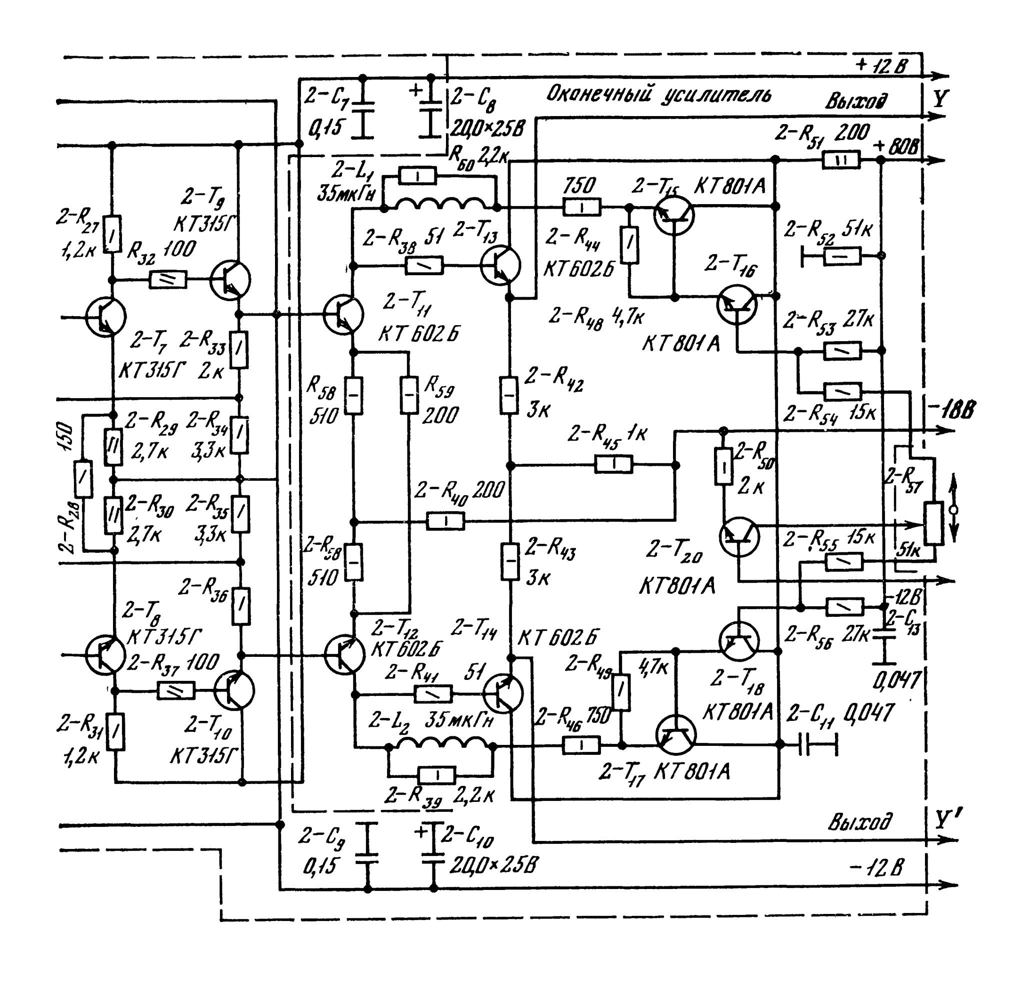


Рис. 3. Схема усилителя вертикального отклонения.

УСТРОЙСТВО СИНХРОНИЗАЦИИ И ГЕНЕРАТОР РАЗВЕРТКИ

Для перемещения электронного луча по оси X ЭЛТ напряжение на горизонтально-отклоняющих пластинах должно линейно нарастать во времени до определенного максимального значения (прямой ход) и в конце периода развертки быстро спадать до начального уровня (обратный ход). Зная время, за которое луч проходит определенный отрезок длины экрана, например 1 см, можно определить длительность исследуемого процесса. Современные осциллографы имеют калиброванные по длительности развертки, позволяющие измерять временные параметры сигналов непосредственно по шкале, наложенной или нанесенной на экран ЭЛТ. Скорость развертки обычно измеряется в микро-, мили- или секундах на сантиметр (или деление шкалы).

Напряжение развертки получают с помощью генераторов пилообразного напряжения ГПН, действие которых основано в большинстве случаев на сравни-



тельно медленном заряде конденсатора через большое сопротивление во время прямого хода и быстром его разряде через малое сопротивление во время обратного хода. Выбор схемы ГПН определяется требуемыми значениями коэффициента нелинейности и амплитуды выходного напряжения. В качестве ГПН в осциллографах используют, как правило, интегратор Миллера или фантастронные схемы, обеспечивающие высокую линейность вырабатываемого напряжения.

Генераторы развертки могут работать либо в режиме автоколебаний, либо в ждущем режиме. В последнем случае частота повторения пилообразного напряжения определяется запускающими импульсами, в качестве которых могут использоваться как исследуемые сигналы, так и импульсы внешнего генератора. Для получения неподвижного изображения исследуемого сигнала на экране трубки генераторы развертки синхронизируются внешними сигналами. Источником синхросигналов может служить исследуемое напряжение, напряжение питающей сети или внешний генератор сигналов.

На время обратного хода развертки луч обычно гасят, подавая с генератора развертки отрицательный импульс на модулятор или положительный — на катод ЭЛТ.

Схема генератора развертки, который применен в осциллографе, приведена на рис. 4. Генератор выполнен на семи транзисторах и шести микросхемах.

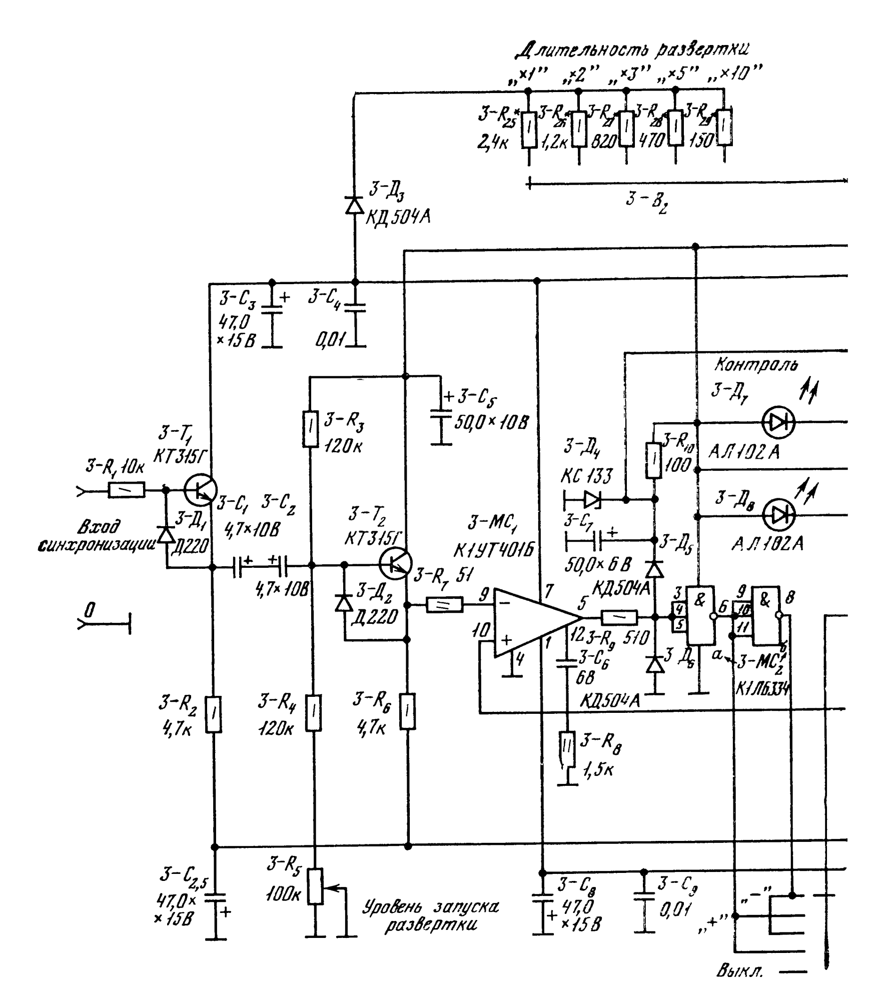
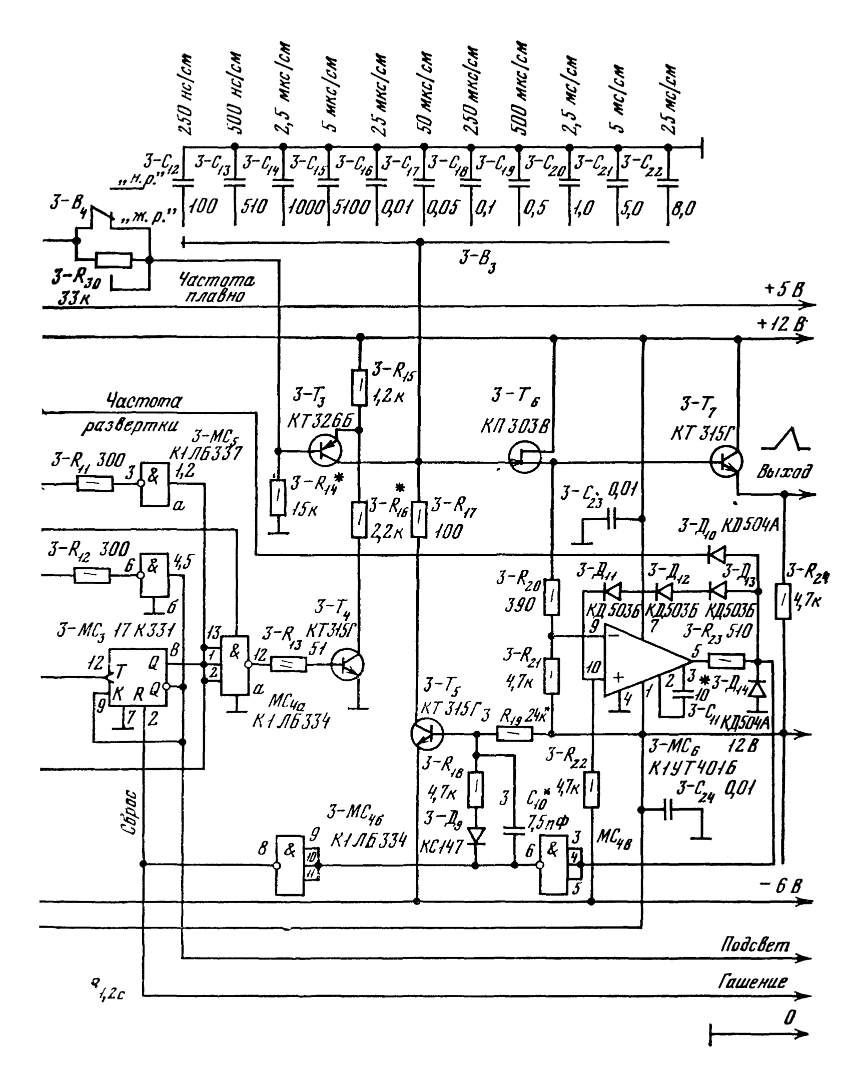


Рис. 4. Схема генератора развертки.

Он характеризуется высокой линейностью формируемого пилообразного напряжения и постоянством его амплитуды независимо от длительности как в автоколебательном, так и в ждущем режимах. Это позволило откалибровать по времени развертку, длительность которой выбирается переключателями $3\text{-}B_2$ и $3\text{-}B_3$. Плавно длительность развертки может регулироваться с помощью потенциометра $3\text{-}R_{30}$.

В состав генератора входят: ГПН, схема сравнения, схема блокировки и возвращения в исходное состояние, схема контроля и схема синхронизации. Генератор пилообразного напряжения собран на транзисторах $3\text{-}T_3$, $3\text{-}T_4$ и $3\text{-}T_5$. Формирование линейного напряжения основано на принципе заряда времязадающего конденсатора постоянным током через токостабилизирующий транзистор $3\text{-}T_3$. Ток коллектора транзистора определяется напряжением смещения на его базе, задаваемого делителем, состоящим из резистора $3\text{-}R_{14}$ и одного из резисторов $3\text{-}R_{25}$—$3\text{-}R_{29}$; в непрерывном режиме последовательно с одним из этих резисторов включен потенциометр $3\text{-}R_{30}$. При постоянной емкости и то-



ке заряда напряжение на времязадающем конденсаторе (3-C_{12}—3-C_{22}) нарастает линейно. С времязадающего конденсатора напряжение подается на истоковый повторитель 3-T_6 и далее через согласующий каскад, выполненный по схеме с общим коллектором на транзисторе 3-T_7, поступает на выход.

Работой генератора развертки управляет схема сравнения, выполненная на операционном усилителе К1УТ401Б (3MC_6).

Пилообразное напряжение с части нагрузки истокового повторителя 3-T_6 подается на инвертирующий вход 9 микросхемы MC_6. На неинвертирующий вход микросхемы 10 подается напряжение смещения от источника минус 6 В.

В исходном состоянии при работе генератора развертки в автоколебательном режиме напряжение на выходе схемы сравнения (вывод 5 MC_6) отрицательно — минус 0,5 В, а транзисторы 3-T_4 и 3-T_5 заперты. При этом через открытый транзистор 3-T_3 начинает заряжаться времязадающий конденсатор. Напряжение на инвертирующем входе MC_6 линейно нарастает. В момент, когда напряжение на инвертирующем входе сравняется с напряжением на неинвер-

тирующем входе, схема сравнения переключается из состояния отрицательного в состояние положительного насыщения. При этом фронт переключения имеет очень малую длительность, что обусловлено положительной обратной связью через диоды $3\text{-}Д_{11}$—$3\text{-}Д_{13}$. Схема сравнения работает подобно триггеру Шмитта. Диоды $3\text{-}Д_{10}$ и $3\text{-}Д_{14}$ служат для согласования выхода схемы сравнения с интегральной логической схемой $МС_{4в}$ (инвертор), напряжение на входе которой не должно превышать +5 В.

Высокое напряжение на выходе схемы сравнения (+4 В на диоде $3\text{-}Д_{14}$) сохраняется до тех пор, пока напряжение на инвертирующем входе *9* не возрастет до значения, равного напряжению на неинвертирующем входе *10*, которое в течение времени прямого хода развертки остается положительным за счет обратной связи через диоды $3\text{-}Д_{11}$—$3\text{-}Д_{13}$. В момент вторичного сравнения напряжений схема сравнения переключается в исходное состояние, т. е. из состояния положительного в состояние отрицательного насыщения. Этот момент соответствует максимальной амплитуде пилообразного напряжения. При этом напряжение на выходе *6* инвертора $МС_{4в}$ становится положительным, около +5 В, что соответствует логической единице, и через цепь $3\text{-}R_{18}3\text{-}Д_9$ поступает на базу транзистора $3\text{-}Т_5$, открывая его. Начинается быстрый разряд времязадающего конденсатора через открытый транзистор $3\text{-}Т_5$ и резистор $3\text{-}R_{17}$. За счет разряда конденсатора напряжение на коллекторе $3\text{-}Т_3$ резко падает и транзистор закрывается. Этому способствует и то, что транзистор $3\text{-}Т_4$ при этом открыт, так как сигнал логической единицы с выхода инвертора $МС_{4в}$ передается также на вход инвертора $МС_{4б}$ и с его выхода поступает на вход *Сброс* триггера $МС_3$ (вывод *R*), переключая его в состояние *0*. В результате этого на неинвертирующем выходе триггера *Q* появляется сигнал логического нуля, а на выходе инвертора $МС_{4а}$ — сигнал логической единицы, который открывает транзистор $3\text{-}Т_4$.

Конденсатор $3\text{-}С_{10}$ способствует переключению транзистора $3\text{-}Т_5$ на высоких частотах. Резистор $3\text{-}R_{17}$ ограничивает ток разряда времязадающего конденсатора.

Когда времязадающий конденсатор полностью разрядится, напряжение между затвором и истоком полевого транзистора $3\text{-}Т_6$ становится отрицательным, около минус 6 В относительно массы, и на инвертирующем входе $МС_6$ появляется отрицательное напряжение. Это приводит к переключению схемы сравнения в состояние положительного насыщения (на диоде $3\text{-}Д_{14}$ +4 В), которое вызывает закрывание транзисторов $3\text{-}Т_4$, $3\text{-}Т_5$ и открывание транзистора $3\text{-}Т_3$. Времязадающий конденсатор заряжается вновь и цикл работы ГПН и схемы сравнения повторяется.

Часть выходного напряжения схемы сравнения (около +1,8 В) через диоды $3\text{-}Д_{11}$—$3\text{-}Д_{13}$ положительной обратной связи поступает на неинвертирующий вход и предохраняет схему сравнения от повторного переключения в течение прямого хода развертки, т. е. до тех пор, пока напряжение на времязадающем конденсаторе не достигнет максимального значения.

Нормальный цикл обратного хода развертки обеспечивается тем, что триггер $3\text{-}МС_3$ в это время заблокирован напряжением *Сброс* (вход *R*) и сигналы синхронизации (или помехи), поступающие на тактовый вход *Т* (вывод *12*), не могут изменить его состояния.

Схема синхронизации выполнена на транзисторах $3\text{-}Т_1$, $3\text{-}Т_2$ и микросхемах $3\text{-}МС_1$ и $3\text{-}МС_2$. Она вырабатывает импульсы прямоугольной формы, которые используются для запуска генератора развертки при работе его в ждущем режиме, а также для жесткой синхронизации режима автоколебаний. Сигнал синхронизации, снимаемый с выхода предварительного усилителя канала вертикального отклонения при внутренней синхронизации или с выхода предварительного усилителя канала горизонтального отклонения при внешней синхронизации, поступает на согласующий каскад, выполненный на транзисторе $3\text{-}Т_1$. Диод $3\text{-}Д_1$, включенный между эмиттером и базой этого транзистора, служит для лучшей передачи положительного фронта запускающего импульса. Для развязки источника синхронизирующих сигналов и генератора развертки по постоянному току служат конденсаторы $3\text{-}С_1$ и $3\text{-}С_2$, включенные встречно.

Согласование источника синхронизирующих сигналов с микросхемой $3\text{-}МС_1$, на которой выполнен формирователь импульсов, осуществляется эмиттерным повторителем (транзистор $3\text{-}Т_2$). Для установления необходимого уровня за-

пуска развертки служит потенциометр $3\text{-}R_5$, с помощью которого через транзистор $3\text{-}T_2$ устанавливается напряжение на инвертирующем входе *9* микросхемы $3\text{-}МС_1$. Переключение $3\text{-}МС_1$ из состояния положительного в состояние отрицательного насыщения и наоборот происходит в момент времени, соответствующий заданному превышению входным сигналом опорного напряжения, подаваемого на неинвертирующий вход *10* (аналогично описанному переключению схемы сравнения на $3\text{-}МС_6$).

В течение прямого хода пилообразного напряжения на неинвертирующем входе $3\text{-}МС_1$ и на неинвертирующем выходе триггера $3\text{-}МС_3$ (вывод *8*) присутствует высокий положительный потенциал, не позволяющий формирователю переключаться. Вследствие этого возможные импульсы помехи не влияют на формирование пилообразного напряжения и изображение на экране ЭЛТ сохраняется устойчивым.

Инверторы $3\text{-}МС_{2а}$ и $3\text{-}МС_{2б}$, подключенные последовательно к выходу $3\text{-}МС_1$, позволяют (с помощью переключателя $3\text{-}В_{1,\,2с}$) осуществить синхронизацию запуска ГПН как отрицательными, так и положительными импульсами, поступающими на тактовый вход *Т* триггера $3\text{-}МС_3$. Под действием импульсов синхронизации триггер переключается из одного состояния в другое до тех пор, пока на входе *R* (*Сброс*) существует положительный потенциал. Как только на этом входе появится сигнал логического нуля (потенциал массы), триггер блокируется. На неинвертирующем выходе *Q* устанавливается *0*, а на инвертирующем $\bar{Q}$ — *1*. С неинвертирующего выхода триггера через инвертор $3\text{-}МС_{4а}$ этот сигнал, имеющий теперь положительный потенциал, подается на базу транзистора $3\text{-}T_4$, и заряд времязадающего конденсатора прекращается.

Когда напряжение на времязадающем конденсаторе достигает минимального значения (что соответствует концу обратного хода), схема сравнения $3\text{-}МС_6$ переключается и на выходе инвертора $3\text{-}МС_{4в}$ появляется потенциал *0*, запирающий транзистор $3\text{-}T_3$, через который проходил разряд конденсатора. При этом на входе *R* триггера $3\text{-}МС_3$ возникает перепад напряжения из *0* в *1* и блокировка снимается.

В этот момент ни ток разряда, ни ток заряда через времязадающий конденсатор не протекают и напряжение на нем остается постоянным. Световой луч по экрану ЭЛТ не перемещается и изображение сигнала отсутствует. При этом световое пятно находится в левой части экрана.

Первый импульс запуска, поступающий на тактовый вход *Т* триггера, переключает его, транзистор $3\text{-}T_3$ открывается и начинается цикл заряда времязадающего конденсатора, который сопровождается перемещением электронного луча по экрану ЭЛТ слева направо.

Чтобы предотвратить повторные переключения триггера импульсами синхронизации в течение длительности прямого хода развертки, сигнал логического нуля с инвертирующего выхода $\bar{Q}$ (вывод *6*) подается на его вход *K* (вывод *9*) и блокирует его. Новое переключение триггера возможно лишь тогда, когда сигнал *0* поступит на вход *Сброс* (вывод *2*) и возвратит триггер в исходное состояние, при котором на неинвертирующем выходе устанавливается *0*, а на инвертирующем — *1*. Цикл работы генератора повторяется.

Выбор временного масштаба развертки осуществляется с помощью выключателей $3\text{-}В_2$ и $3\text{-}В_3$.

Схема контроля, выполненная на микросхемах $3\text{-}МС_{5а}$ и $3\text{-}МС_{5б}$ и светодиодах $3\text{-}Д_7$, $3\text{-}Д_8$, позволяет контролировать работу генератора развертки в выбранных режимах. При нормальной работе светятся оба светодиода, причем яркость светодиода $3\text{-}Д_7$ больше яркости $3\text{-}Д_8$, так как длительность прямого хода развертки в несколько раз превышает длительность обратного хода. В ждущем режиме отсутствие свечения светодиода $3\text{-}Д_8$ указывает на то, что уровень сигнала синхронизации либо мал, либо не поступает на схему.

С выхода инвертора $3\text{-}МС_{4б}$ (вывод *8*) и инвертирующего выхода $\bar{Q}$ триггера $3\text{-}МС_3$ снимаются сигналы, которые управляют работой схемы гашения и подсвета электронного луча на время обратного и прямого хода развертки соответственно. Эта схема приведена на рис. 15 и рассматривается совместно со схемой питания ЭЛТ.

Осциллограммы генератора развертки при работе его в режиме автоколебаний с синхронизацией исследуемым сигналом показаны в табл. 2—4.

Таблица 2

Транзистор	Форма напряжения на электродах		
	База	Коллектор	Эмиттер
3-$Т_1$КТ315Г			2В
3-$Т_2$КТ315Г	2В		2В
3-$Т_3$КТ326Б		+2В −3В	
3-$Т_4$КТ315Г	+1,5В 0	+5В 0	
3-$Т_5$КТ315Г	+1В 0	+2В −3В	
3-$Т_6$КП303В	+2В −3В		+3,2В −1,8В
3-$Т_7$КТ315Г	+3,5В −1,5В		+2,5В −2,5В

АТТЕНЮАТОР И УСИЛИТЕЛЬ КАНАЛА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Ослабление внешнего развертывающего напряжения (или синхронизирующего сигнала) осуществляет аттенюатор канала горизонтального отклонения, схема которого приведена на рис. 5. Входная цепь аттенюатора состоит из входного гнезда $4\text{-}Г_1$ и переключателя $4\text{-}В_1$, при помощи которых внешнее напряжение поступает на аттенюатор непосредственно или через конденсатор $4\text{-}С_1$. Аттенюатор представляет собой шестиступенчатый частотно-компенсированный делитель напряжения, его схема подобна схеме аттенюатора канала вертикального отклонения, назначение элементов и работа которого были рассмотрены ранее.

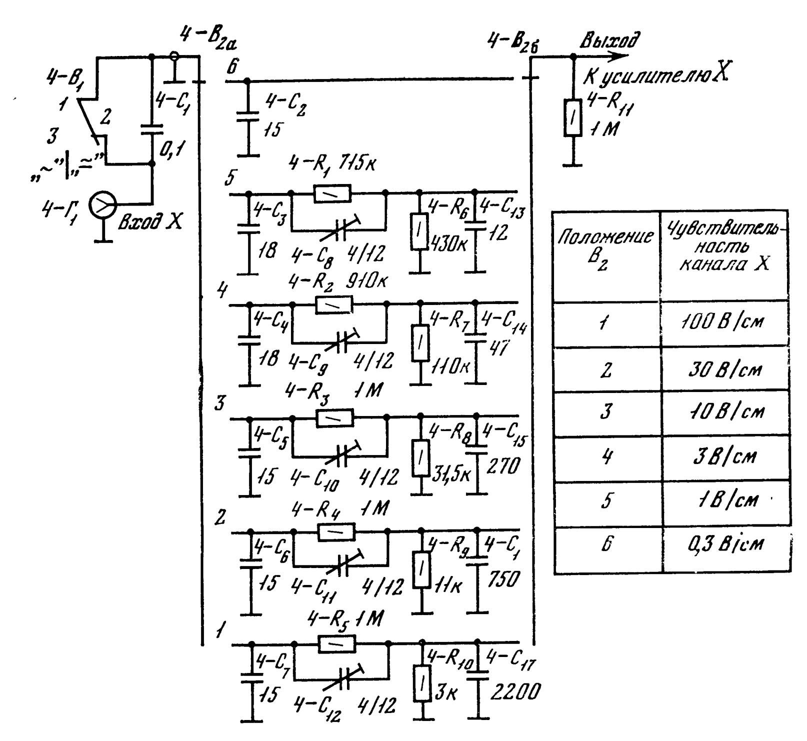
Для увеличения амплитуды пилообразного напряжения, формируемого генератором развертки, а также для усиления внешнего развертывающего или синхронизирующего напряжения служит усилитель горизонтального отклонения (рис. 6), в состав которого входят предварительный и оконечный усилители. При использовании внутреннего генератора развертки пилообразное напряже-

Таблица 3

Микросхема	Форма напряжения на выводах микросхем			
	Вход инвертируемый	Вход неинвертируемый	Выход	
З-$МС_1$ К1УТ401Б	2В	+3В −0	+4,5В (на $Д_6$) −0	
З-$МС_6$ К1УТ401Б	+2В −2,5В	+1,8В −2,5В	+4В (на $Д_{14}$) −0,5В	
З-$МС_3$ К1ТК331	Вход T	Выход Q	Выход $\bar{Q}$	Вход R
	+3,5В 0	+3,5В 0	+3,5В 0	+3,5В 0

Таблица 4

№ элемента на схеме	Форма напряжения	
	Вход	Выход
З-$МС_{2а}$	+4,5В 0	+3,5В 0
З-$МС_{2б}$	+3,5В 0	+3,5В 0
З-$МС_{4а}$	+3,5В 0	+1,5 0
З-$МС_{4в}$	+3,5В 0	+3,5В 0
З-$МС_{4б}$	+3,5В 0	+3,5В 0



Положение $В_2$	Чувствительность канала X
1	100 В/см
2	30 В/см
3	10 В/см
4	3 В/см
5	1 В/см
6	0,3 В/см

Рис. 5. Аттенюатор канала горизонтального отклонения.

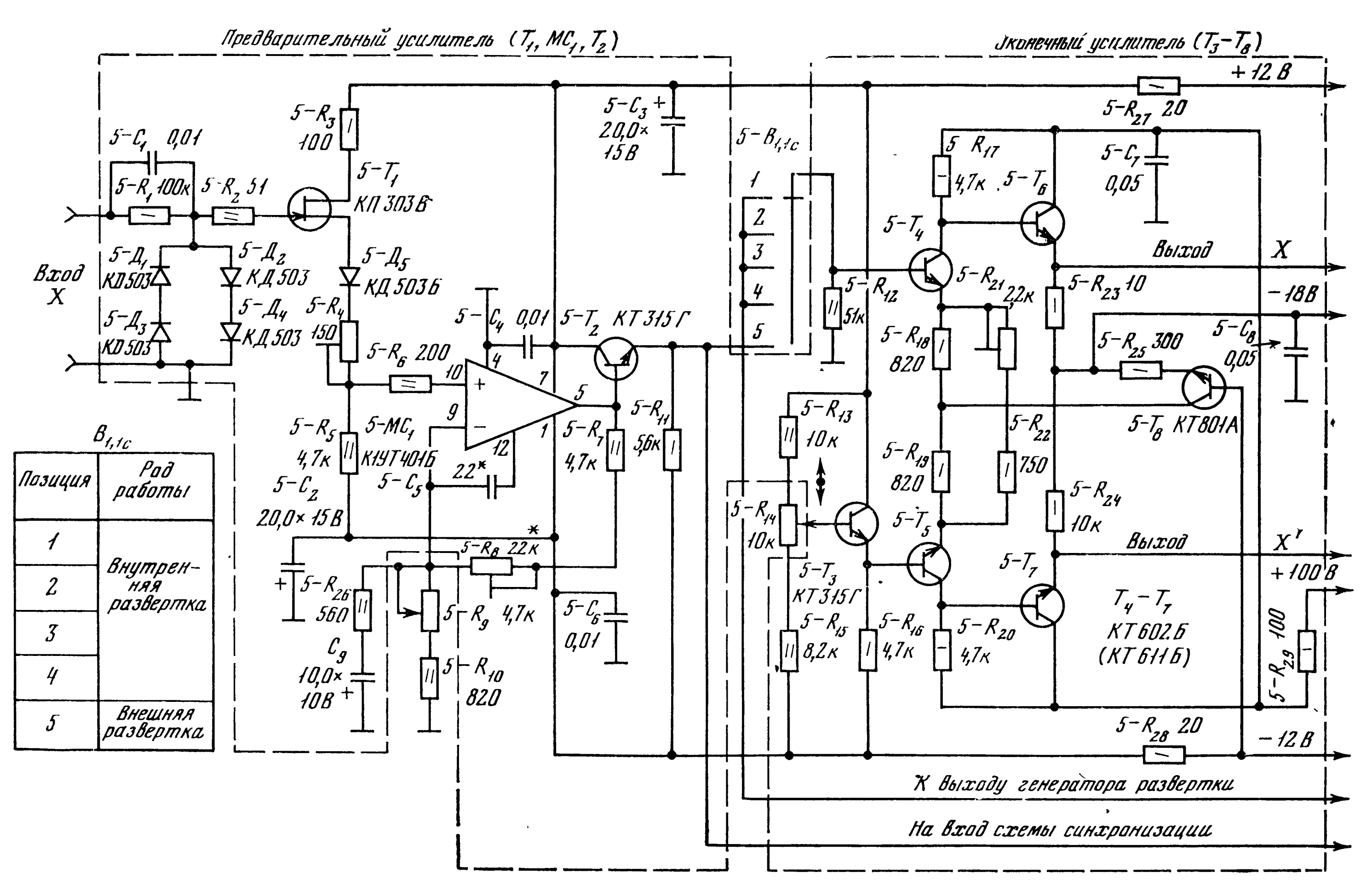
ние усиливается оконечным усилителем, который отключается от предварительного усилителя переключателем $5\text{-}В_{1.1}$ и используется в этом случае только для усиления сигналов внешней синхронизации.

Предварительный усилитель собран на транзисторах $5\text{-}T_1$, $5\text{-}T_2$ и микросхеме $5\text{-}МС_1$, а оконечный — на транзисторах $5\text{-}T_3$—$5\text{-}T_8$. С выхода аттенюатора внешнее напряжение поступает на входной каскад усилителя, выполненный по схеме истокового повторителя на полевом транзисторе $5\text{-}T_1$. Этим обеспечивается высокое входное сопротивление усилителя и согласование источника внешних сигналов с усилительной ступенью, собранной на операционном усилителе К1УТ401Б $5\text{-}МС_1$.

Диоды $5\text{-}Д_1$—$5\text{-}Д_4$ в цепи затвора транзистора $5\text{-}T_1$ предохраняют полевой транзистор от перегрузок со стороны входа, а диод $5\text{-}Д_5$ используется для согласования уровней на затворе транзистора $5\text{-}T_1$ и неинвертирующем входе *10* микросхемы $5\text{-}МС_1$.

С выхода $5\text{-}МС_1$ на ее инвертирующий вход *9* подано напряжение отрицательной обратной связи через цепь $5\text{-}R_7$—$5\text{-}R_{10}$, $5\text{-}R_{26}$, $5\text{-}C_9$. Для коррекции АЧХ в области низких частот служит цепь $5\text{-}R_{26}5\text{-}C_9$. Верхняя граница диапазона рабочих частот определяется емкостью конденсатора $5\text{-}C_5$. С помощью подстроечного резистора $5\text{-}R_8$ в цепи отрицательной обратной связи устанавливается максимальный коэффициент усиления каскада в полосе частот до 1,5—2 МГц. Для плавной регулировки усиления служит потенциометр $5\text{-}R_9$. При калибровке аттенюатора канала горизонтального отклонения движок этого потенциометра устанавливается в строго определенное положение, которое помечается риской на его ручке.

Через эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе $5\text{-}T_2$, напряжение внешней развертки или синхронизации поступает на оконечный усилитель или на схему синхронизации соответственно. Необходимая коммутация осуществляется с помощью переключателя $5\text{-}В_{1\,1}$.



Позиция	Род работы
1	Внутренняя развертка
2	
3	
4	
5	Внешняя развертка

Рис. 6. Усилитель горизонтального отклонения.

Оконечный усилитель собран на транзисторах 5-T_3—5-T_8. Он предназначен для усиления напряжения развертки (от внешнего или от внутреннего генератора), подаваемого на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ, до значения, обеспечивающего отклонение луча слева направо по всему экрану. На транзисторах 5-T_4 и 5-T_5 собран фазоинверсный каскад с эмиттерной связью. Этот каскад преобразует несимметричный сигнал, поступающий на базу 5-T_4, в симметричный, снимаемый с коллекторов 5-T_4 и 5-T_5. На отклоняющие пластины ЭЛТ напряжение развертки подается через эмиттерные повторители — транзисторы 5-T_6 и 5-T_7. Транзистор 5-T_8 является стабилизатором тока.

Изображение по горизонтали перемещается при изменении напряжения на базе транзистора 5-T_3, на котором собран эмиттерный повторитель, с помощью резистора 5-R_{14}.

Регулировка коэффициента усиления оконечного усилителя горизонтального отклонения осуществляется подстроечным резистором 5-R_{21}, включенным в цепь обратной связи между эмиттерами транзисторов 5-T_4 и 5-T_5. Карта напряжений усилителя горизонтального отклонения приведена в табл. 5.

Таблица 5

Транзистор (МС)	Напряжение на выводах, В		
	Коллектор (сток)	Эмиттер (исток)	База (затвор)
5-T_1 КП303В	+11,5	+1,8	0
5-T_2 КТ315Г	+12	+2,0	+1,8
5-T_3 КТ315Г	+12	+0,8	+1,5
5-T_4 КТ602Б	+45	+0,5	+1,8
5-T_5 КТ602Б	+45	+0,5	+1,8
5-T_6 КТ602Б	+90	+42	+45
5-T_7 КТ602Б	+90	+42	+45
	Вход «+»	Вход «—»	Выход
5-MC_1 К1УТ401Б	+0,6	+0,6	+2,0

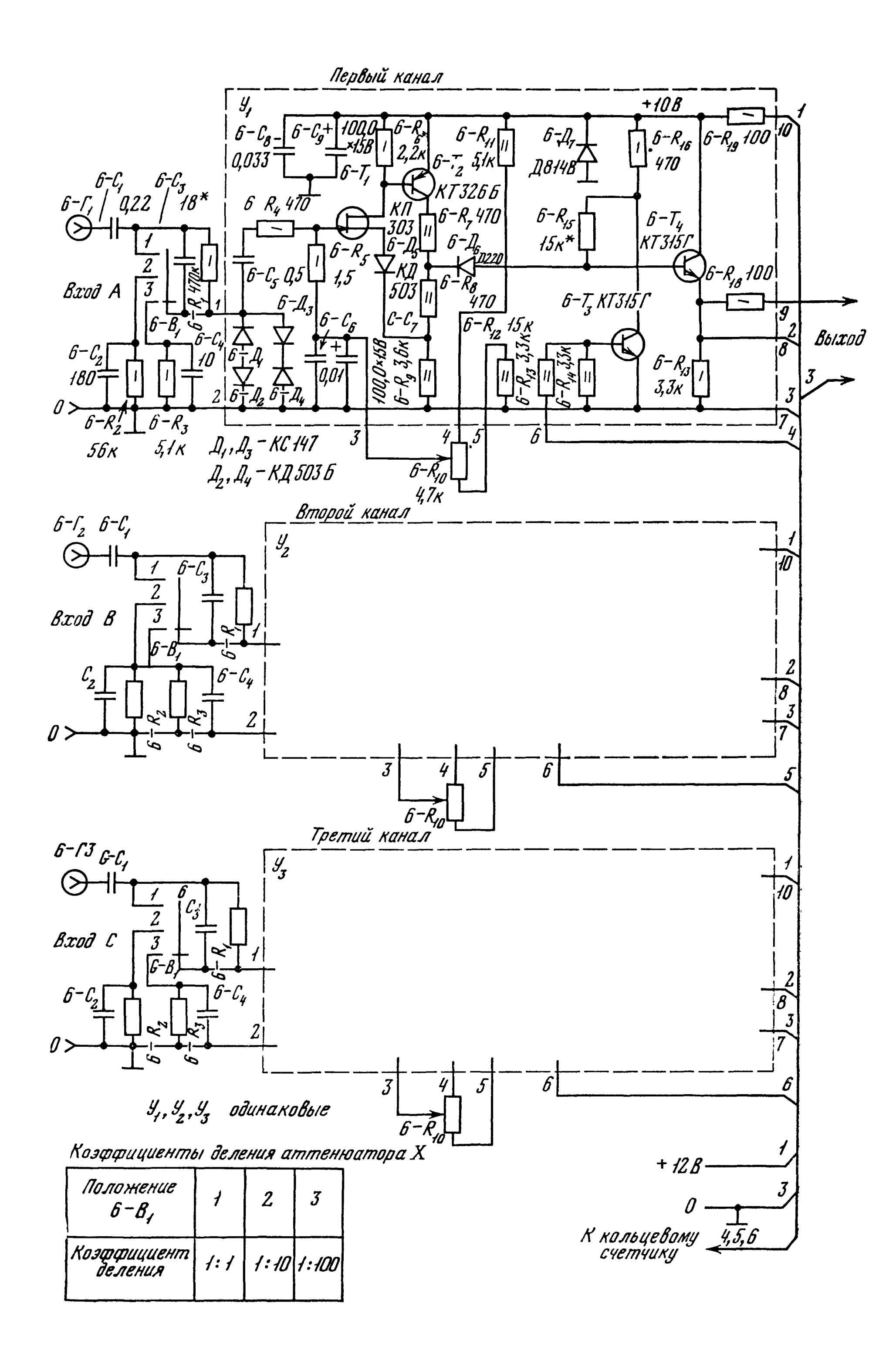
ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР

Для одновременного наблюдения на экране ЭЛТ двух или трех исследуемых сигналов служит электронный коммутатор, который входит в состав осциллографа и имеет следующие технические данные: число каналов 3; коэффициент передачи напряжения для каждого канала 1; максимальная частота переключения каналов 5 МГц; полоса пропускания каждого канала от 10 Гц до 10 МГц; импульсы запуска — полярность положительная, амплитуда от 2,4 до 5 В, длительность не менее 0,1 мкс; параметры входа каждого канала — входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 50 пФ.

Принцип работы и взаимосвязь блоков электронного коммутатора были рассмотрены при описании структурной схемы прибора (рис. 1). В состав коммутатора входят: три идентичных канала передачи исследуемого напряжения, имеющие в своем составе аттенюатор и ключевую схему, кольцевой счетчик, генератор коммутирующих импульсов и формирующее устройство.

Принципиальная схема каналов коммутатора приведена на рис. 7. В состав каждого канала входят: трехступенчатый аттенюатор и ключевая схема, состоящая из ограничителя входного сигнала на диодах 6-$Д_1$—6-$Д_4$, составного повторителя с коэффициентом передачи, равным 1 (транзисторы 6-T_1 и 6-T_2), выходного каскада (эмиттерный повторитель на транзисторе 6-T_4) и соб-

Рис. 7. Принципиальная схема каналов коммутатора.



Коэффиценты деления аттенюатора X

Положение 6-В1	1	2	3
Коэффициент деления	1:1	1:10	1:100

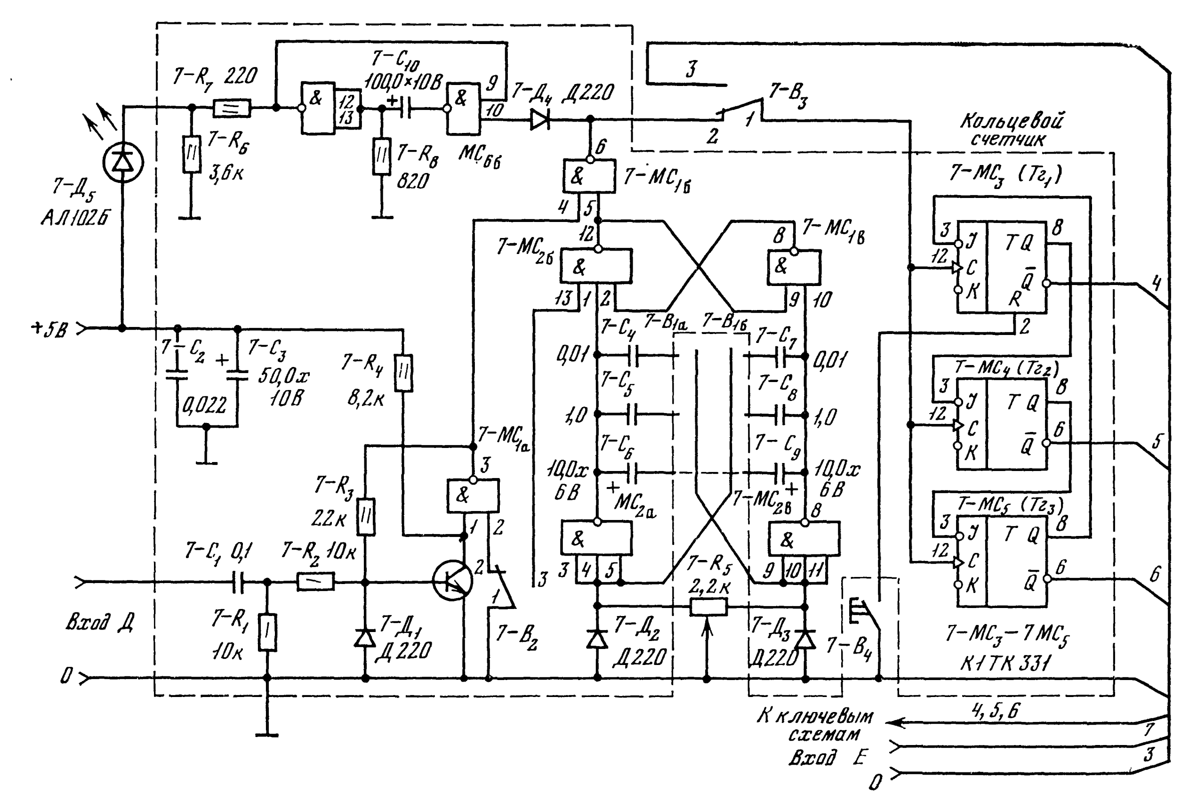


Рис. 8. Схема кольцевого счетчика, формирующего устройства и генератора коммутирующих импульсов коммутатора.

ственно ключевой схемы на транзисторе $6\text{-}T_3$ и диоде $6\text{-}Д_6$. Эмиттеры транзисторов $6\text{-}T_4$ выходных каскадов всех трех каналов коммутатора подключены к общей нагрузке $6\text{-}R_{17}$.

Смещение линии развертки в вертикальной плоскости, т. е. перемещение изображений исследуемых сигналов на экране ЭЛТ относительно друг друга, осуществляется с помощью резистора $6\text{-}R_{10}$ путем изменения потенциала на затворе полевого транзистора $6\text{-}T_1$. Коммутирующие импульсы с выхода кольцевого счетчика поступают на базу транзистора $6\text{-}T_3$ через резистор $6\text{-}R_{13}$.

В исходном состоянии при отсутствии коммутирующих импульсов транзистор $6\text{-}T_3$ закрыт и напряжение на его коллекторе близко к напряжению источника питания. Это напряжение через резистор $6\text{-}R_{15}$ передается в цепь базы транзистора $6\text{-}T_4$ и на анод диода $6\text{-}Д_6$. В результате этого диод $6\text{-}Д_6$ открывается и исследуемый сигнал с коллекторной нагрузки транзистора $6\text{-}T_2$ поступает на базу транзистора $6\text{-}T_4$ и далее с общей нагрузки $6\text{-}R_{17}$ через резистор $6\text{-}R_{18}$ подается на вход канала горизонтального отклонения.

При поступлении на базу $6\text{-}T_3$ импульса положительной полярности он открывается и потенциал его коллектора падает. Напряжение на аноде $6\text{-}Д_6$ приближается к нулю и исследуемый сигнал на базу транзистора $6\text{-}T_4$ и далее не проходит, так как диод $6\text{-}Д_6$ закрыт.

Коммутирующие импульсы, осуществляющие поочередное переключение каналов во времени, формируются с помощью кольцевого счетчика, собранного на трех триггерах типа К1ТК331: $7\text{-}МС_3$—$7\text{-}МС_5$ (рис. 8).

Максимальный коэффициент пересчета кольцевого счетчика равен количеству входящих в него триггеров. Следовательно, при трех триггерах будет осуществляться пересчет на три по числу каналов коммутатора. В исходном состоянии на инвертирующих выходах $\bar{Q}$ (с которых сигнал подается на ключевые схемы каналов коммутатора) двух триггеров счетчика устанавливается логическая единица, а на третьем — логический нуль; канал, на который подается сигнал с этого триггера, поключен к усилителю горизонтального отклонения. Импульс, приходящий с генератора коммутирующих импульсов, переключает триггер, у которого на выходе $\bar{Q}$ был *0*. При этом на выходе $\bar{Q}$ этого триггера устанавливается *1*. Поскольку неинвертирующий выход Q триггера соединен со входом J следующего триггера, то последний устанавливается в состояние, при котором на выходе $\bar{Q}$ устанавливается *0*; к усилителю вертикального отклонения подключается следующий канал коммутатора.

Последовательность состояний счетчика в зависимости от числа поступивших импульсов показана на осциллограммах (рис. 9).

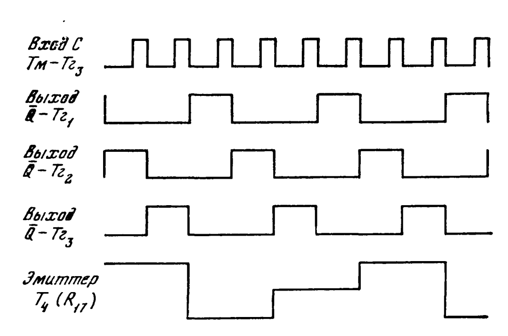


Рис. 9. Осциллограммы работы кольцевого счетчика коммутатора.

Особенностью кольцевых счетчиков является возможность сбоев или неправильная установка перед началом счета, которая проявляется в появлении лишних или исчезновении нужных кодовых единиц в кольце. Для устранения этого служит кнопка $7\text{-}B_4$, с помощью которой на выходе $\bar{Q}$ первого триггера может быть установлен *0* перед поступлением запускающих импульсов или в момент, когда счетчик не осуществляет необходимого пересчета.

Контроль за прохождением тактовых импульсов осуществляется с помощью импульсного индикатора, выполненного по схеме одновибратора на двух ячейках И—НЕ на микросхеме $7\text{-}МС_6$ и светодиоде $7\text{-}Д_5$.

Генератор коммутирующих импульсов собран на транзисторно-транзисторных логических схемах (ТТЛ) И—НЕ по схеме автоколебательного симметричного мультивибратора $7\text{-}МС_{1в}$, $7\text{-}МС_{2а}$—$7\text{-}МС_{2в}$, схема и работа которого аналогичны обычному транзисторному мультивибратору с коллекторно-базовыми емкостными связями. Необходимая частота колебаний (25, 250 Гц и 25 кГц)

устанавливается с помощью переключателя $7\text{-}B_1$, а симметрирование формы выходного напряжения осуществляется потенциометром $7\text{-}R_5$.

Для получения из сигналов, подаваемых от внешних источников, импульсов прямоугольной формы служит формирователь, который собран на транзисторе $7\text{-}T_1$ и ячейках И—НЕ $7\text{-}MC_1$—$7\text{-}MC_{16}$. Переключатель $7\text{-}B_2$ служит для установления рода запуска счетчика от внешнего генератора (вход *Д*) или генератора коммутирующих импульсов (см. рис. 8). В положении, указанном на схеме, запускающие импульсы поступают от генератора коммутирующих импульсов, так как на вход *2* инвертора $7\text{-}MC_{1а}$ подан *0* (потенциал массы), и переключение инвертора под действием внешних импульсов, поступающих с коллектора $7\text{-}T_1$ на вход *1*, не происходит. На выходе $7\text{-}MC_{1а}$ устанавливается *1*, разрешающая прохождение тактовых импульсов с выхода генератора коммутирующих импульсов через $7\text{-}MC_{16}$ на вход счетчика. При подаче *0* на вход *13* $7\text{-}MC_{2б}$ (переключатель $7\text{-}B_2$ в положении *3*) мультивибратор блокируется и прохождение импульсов на вход счетчика возможно только с выхода формирующего устройства, т. е. сигналов от внешнего генератора, подаваемых на вход *Д*.

Импульсы обратного хода луча подаются на счетчик непосредственно через переключатель $7\text{-}B_3$.

При правильной работе коммутатора на общей эмиттерной нагрузке $6\text{-}R_{17}$ (см. рис. 7) формируется напряжение ступенчатой формы, осциллограмма которого показана на рис. 9. Длина каждой ступеньки соответствует длительности отпирающего сигнала, поступающего с кольцевого счетчика, а их шаг (расстояние между ступенями по вертикали на экране ЭЛТ) определяется напряжением смещения на затворах истоковых повторителей, которое устанавливается потенциометром $6\text{-}R_{10}$ (см. рис. 7).

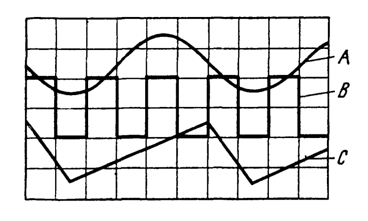


Рис. 10. Изображение трех сигналов на экране ЭЛТ (*A*, *B*, *C* — изображения сигналов, поданных на входы *A*, *B* и *C* электронного коммутатора).

Изображение на экране ЭЛТ трех исследуемых сигналов, подаваемых на входы коммутатора в соответствии с рис. 1, показано на рис. 10. Запуск коммутатора осуществляется импульсами обратного хода развертки; длительность исследуемых сигналов во много раз меньше длительности прямого хода развертки.

Карта напряжений одного из каналов коммутатора приведена в табл. 6.

Таблица 6

Транзистор	Напряжение на электродах, В		
	Коллектор (сток)	Эмиттер (исток)	База (затвор)
$6\text{-}T_1$ КП303В	+9,0	+6,0	+2,5
$6\text{-}T_2$ КТ326Б	+10,0	+6,8	+9,0
$6\text{-}T_3$ КТ315Г	+9,5	0	0
$6\text{-}T_4$ КТ315Г	+10	+5,8	+6,8

ЧАСТОТОМЕР

Частотомер предназначен для измерения частоты и периода исследуемых электрических колебаний, а также для выдачи напряжения стандартных частот $F_{ст}$.

Основные технические характеристики частотомера: диапазон измеряемых частот 0—10 МГц; среднеквадратичное входное напряжение 0,5—5 В; полярность входных импульсных сигналов положительная; погрешность измерения частоты $\pm 5\cdot10^{-7}\pm1$ счета; время измерения 0,1 и 1 с; диапазон измерения пе-

риода 1 мс — 1 с; погрешность измерения периода ± 1 мкс; частота кварцевого генератора 1 МГц; нестабильность частоты кварцевого генератора $\pm 5 \cdot 10^{-7}$; время индикации 0,4 и 4 с; емкость счетчика — семь десятичных разрядов; выдаваемые стандартные частоты — декадными ступенями от 1 Гц до 1 МГц; входное сопротивление 30 кОм; входная емкость 30 пФ.

В состав частотомера входят следующие узлы: формирователь, схема управления, временной селектор, генератор образцовой частоты, декадный делитель образцовой частоты, декадный делитель T, счетчик с дешифратором и цифровой индикатор (см. рис. 1).

Частотомер может работать в режиме измерения частоты и в режиме измерения периода. Принцип работы частотомера и взаимосвязь его узлов в обоих режимах работы рассмотрены ранее при описании структурной схемы прибора.

Принципиальная схема частотомера приведена на рис. 11 (формирователь, схема управления, генератор образцовой частоты, декадные делители, временной селектор) и на рис. 12 (десятичный счетчик, дешифратор и цифровой индикатор).

Сигнал, частота которого измеряется, подается на вход формирователя через переключатель $8\text{-}B_7$ непосредственно с выхода E частотомера или с предварительного усилителя канала вертикального отклонения. Формирователь служит для преобразования поступающих на его вход различных по форме и амплитуде сигналов в импульсы прямоугольной формы с амплитудой 4,5—5 В. Схема формирователя собрана на транзисторе $8\text{-}T_1$ (усилитель-ограничитель) и микросхеме $8\text{-}MC_2$, на элементах которой выполнены инверторы $8\text{-}MC_{2в}$, $8\text{-}MC_{2г}$ и собственно формирователь импульсов с крутыми фронтами $8\text{-}MC_{2а}$, $8\text{-}MC_{2б}$, выполненный по схеме асинхронного RS-триггера с применением резистивно-емкостных связей.

С целью повышения входного сопротивления схемы последовательно со входом включен резистор $8\text{-}R_1$. Диод $8\text{-}Д_1$ служит для выделения положительной полуволны входного сигнала.

Схема управления предназначена для осуществления процесса измерения в соответствии с выбранным режимом работы частотомера. В состав схемы входят: триггеры $8\text{-}Тг_1$—$8\text{-}Тг_3$ и логические схемы И—НЕ ($8\text{-}MC_3$—$8\text{-}MC_4$). На $8\text{-}MC_{4б}$ выполнен временной селектор, через который импульсы измеряемой (или образцовой, при измерении периода) частоты поступают на счетчик.

Генератор образцовой частоты собран на логических элементах $8\text{-}MC_{1а}$—$8\text{-}MC_{1в}$ по схеме генератора с кварцевым резонатором в цепи обратной связи. Точная установка частоты колебаний генератора 1 МГц осуществляется с помощью конденсатора $8\text{-}C_4$.

Сигнал с выхода кварцевого генератора подается на усилитель-ограничитель $8\text{-}MC_{1в}$, с выхода которого снимаются импульсы прямоугольной формы. Эти импульсы поступают на шестиразрядный декадный делитель образцовой частоты, выполненный на микросхемах $8\text{-}MC_5$—$8\text{-}MC_9$, и подаются на выход $F_{ст}$ через переключатель $8\text{-}B_1$.

Для выбора режима работы — измерения частоты или периода — служат переключатели $8\text{-}B_2$—$8\text{-}B_5$.

При измерении частоты сигналы через переключатель $8\text{-}B_7$ поступают на формирователь, с выхода которого через переключатели $8\text{-}B_2$, $8\text{-}B_3$ и $8\text{-}B_5$ подаются на вход *5* временного селектора $8\text{-}MC_{4б}$. Интервал времени $T_{об}$, в течение которого селектор открыт и происходит передача импульсов измеряемой частоты на вход счетчика, устанавливается переключателем $8\text{-}B_4(T_{об})$, при замыкании верхнего по схеме контакта $T_{об}$ равен 0,1 с, нижнего — 1 с. Через переключатель рода работы $8\text{-}B_3$ (положение f — измерение частоты, положение T — периода) эти импульсы, частота которых соответствует выбранному интервалу времени, подаются на вход T триггера $8\text{-}Тг_1$ схемы управления.

Соединенные последовательно триггеры $8\text{-}Тг_1$—$8\text{-}Тг_3$ и подключенные к их выходам ячейки И—НЕ ($8\text{-}MC_{3а}$—$8\text{-}MC_{3б}$) схемы управления обеспечивают автоматический режим работы частотомера, при котором цикл измерения, индикации и сброса повторяется либо через каждые 8 с (при $T_{об}=1$ с), либо через 0,8 с (при $T_{об}=0,1$ с).

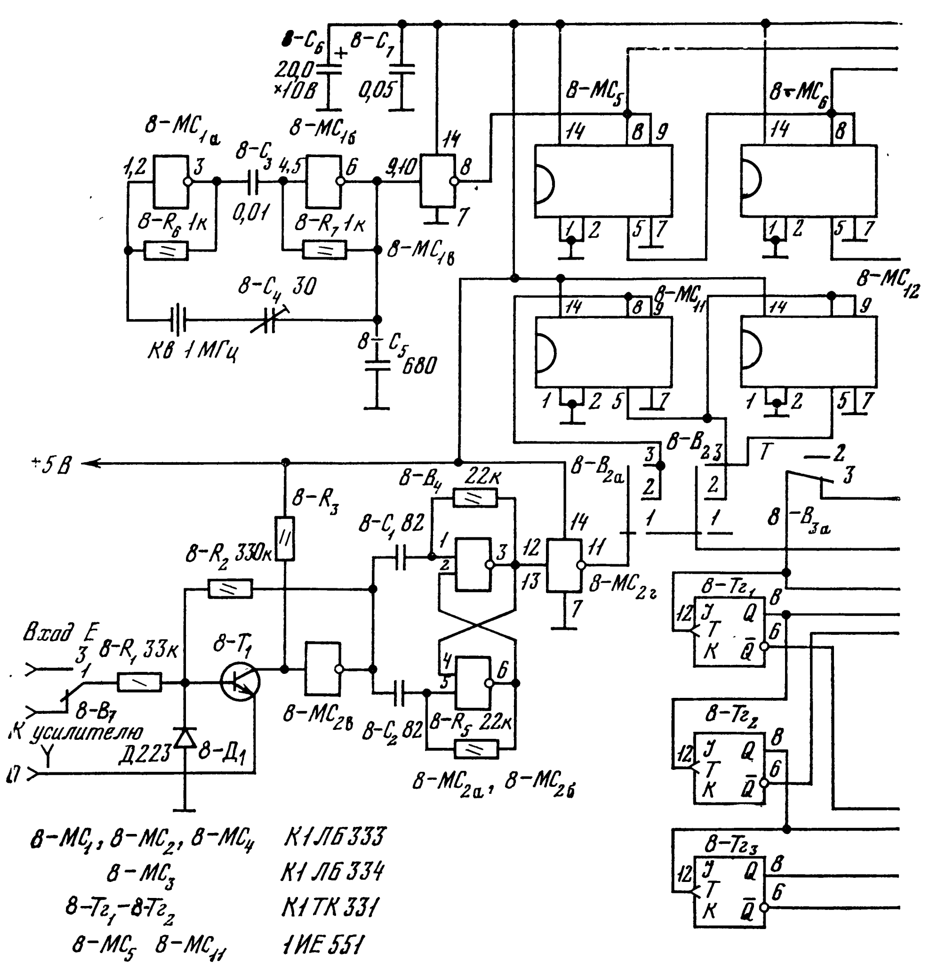
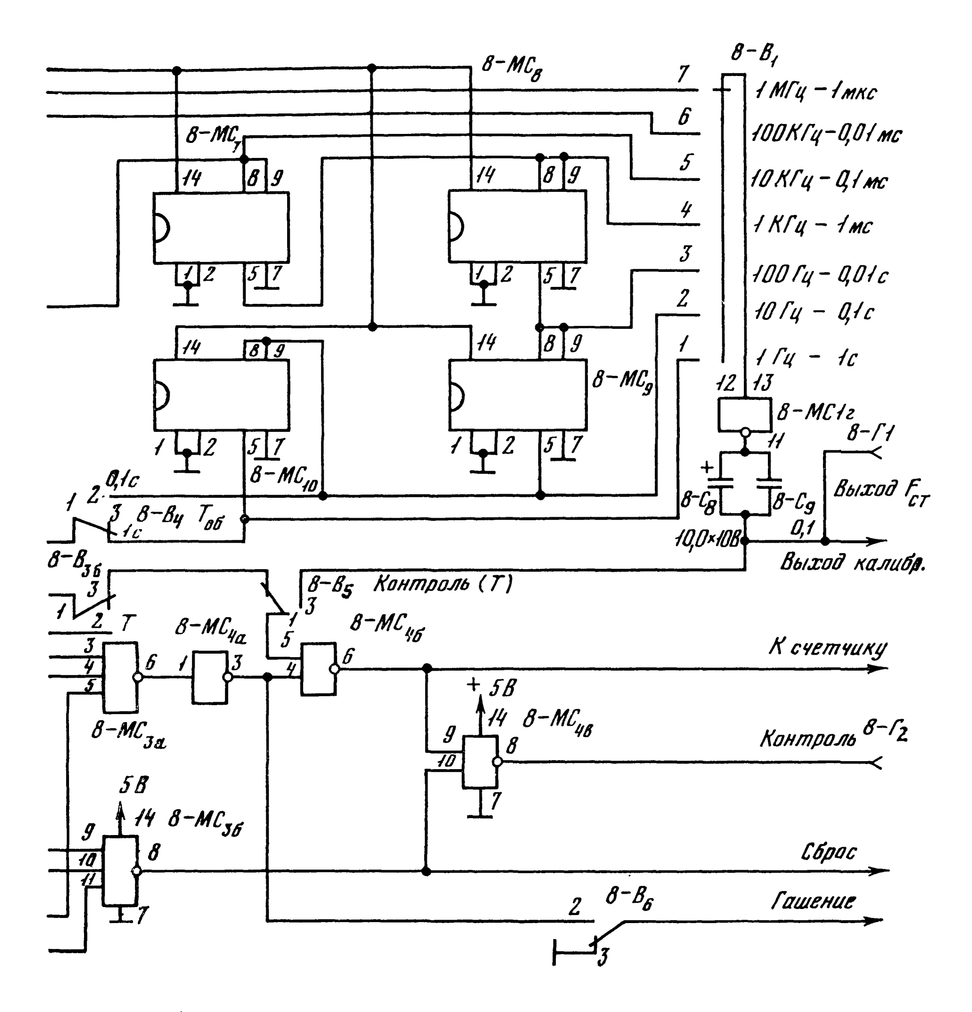


Рис. 11. Принципиальная схема частотомера (формирователь, схема управления,

Осциллограммы, поясняющие работу частотомера в режиме измерения частоты, приведены на рис. 13. При правильной работе схемы управления расстановка сигналов *Измерение* и *Сброс* должна быть такой, как показано на выходе элемента контроля *8-МС*$_{4в}$ (гнездо *8-Г*$_2$).

Из осциллограммы видно, что при $T_{об}=1$ с время индикации результата измерения составляет 4 с, а время индикации *0* после *Сброса* показаний счетчика — 3 с.

При измерении периода переключатель режима работы *8-В*$_3$ устанавливается в положение *Т*, а переключатель *8-В*$_5$ — в положение *Контроль* (рис. 11). Требуемая длительность меток выбирается с помощью переключателя *8-В*$_1$; обычно устанавливается 1 или 10 мкс. Сигналы, период которых требуется измерить, подаются на вход формирователя. Для измерения длительности 10 или 100 периодов исследуемого сигнала к выходу формирователя подключаются делители на *8-МС*$_{11}$ и *8-МС*$_{12}$ (декадные делители *Т*). При установке переключателя *8-В*$_2$ в положение *2* осуществляется измерение 10 периодов, а при установке в положение *3* — 100 периодов.



генератор образцовой частоты, декадные делители, временной селектор).

Для устранения мерцания цифр в процессе счета индикаторы могут быть отключены на время измерения импульсом *Гашение*, который поступает со схемы управления через переключатель *8-В*$_6$.

С генератора образцовой частоты и декадного делителя через переключатель *8-В*$_1$ снимаются импульсы стандартных частот $F_{ст}$, которые подаются на выход (гнездо *8-Г*$_1$), а также используются в качестве калибровочных при проверке и настройке каналов вертикального и горизонтального отклонения луча осциллографа.

Счетчик частотомера, схема одного разряда которого показана на рис. 12, выполнен на универсальных *JK*-триггерах и представляет собой декадный делитель частоты, работающий в коде 1-2-4-8. Принцип работы поясняется временной диаграммой (рис. 14). Для обеспечения пересчета на 10 в схему декады введены дополнительные связи: с выхода $\bar{Q}$ триггера *9-Тг*$_4$ на вход *J* триггера *9-Тг*$_2$ и с выхода *Q* триггера *9-Тг*$_3$ на вход *J* триггера *9-Тг*$_4$. Кроме того, вход *К* триггера *9-Тг*$_4$ соединен с выходом *Q* триггера *9-Тг*$_1$.

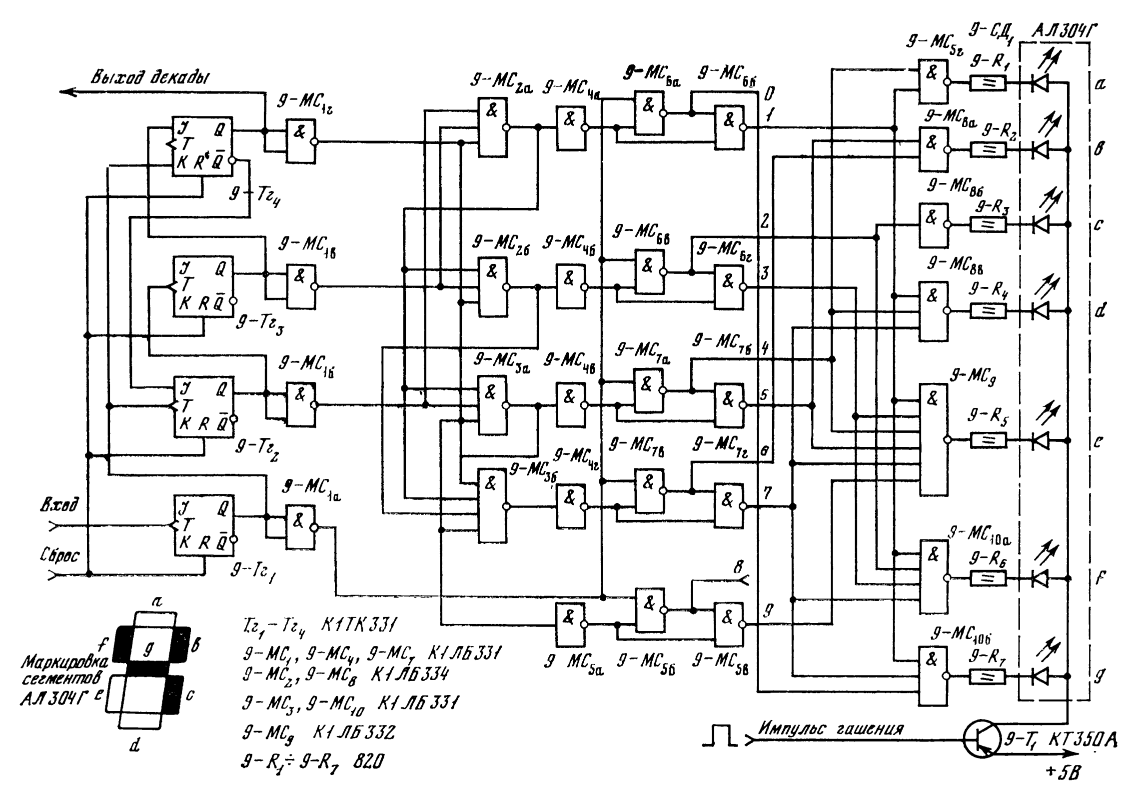


Рис. 12. Принципиальная схема частотомера (десятичный счетчик, дешифратор, цифровой индикатор).

В исходном состоянии на выходах Q всех триггеров устанавливается логический нуль.

По мере поступления счетных импульсов на вход декады происходит последовательное переключение триггеров, и до прихода восьмого импульса она работает как обычный двоичный счетчик. Под действием восьмого импульса триггеры 9-$Тг_1$, 9-$Тг_2$ и 9-$Тг_3$ переключаются в состояние *0*, а триггер 9-$Тг_4$ — в состояние *1*, так как до прихода восьмого импульса на управляющем входе *J* данного триггера имелся высокий потенциал. Низкий потенциал с выхода $\bar{Q}$ триггера 9-$Тг_4$ по одной из дополнительных связей поступает на вход *J* триггера 9-$Тг_2$ и предотвращает переключение триггера в состояние *1* под действием десятого импульса. Десятый импульс переключает триггер 9-$Тг_1$ и возвращает в состояние *0* триггер 9-$Тг_4$. При этом снимается запрет с триггера 9-$Тг_2$ и цикл работы декады повторяется. С выхода триггера 9-$Тг_4$ перепадом потенциала из *1* в *0* осуществляется запуск следующей декады **счетчика.**

Инверторы 9-$МС_{1а}$—9-$МС_{1г}$, подключенные к выходам Q триггеров, служат для согласования счетчика с дешифратором, выполненным на логических элементах И—НЕ (9-$МС_2$—9-$МС_{10}$) (рис. 12). Особенностью дешифратора является то, что он может использоваться со счетчиками, работающими как в коде 1-2-4-8, так и в коде 1-2-4-2, кроме того, применение данного дешифратора исключает одновременное появление сигналов, соответствующих двум разным цифрам. При любых комбинациях входных сигналов, поступающих со счетчика, сигнал *0* будет только на одном выходе дешифратора (выходы *0*—*9* элементов микросхем 9-$МС_{6а}$, 9-$МС_{6б}$, 9-$МС_{6в}$, 9-$МС_{6г}$, 9-$МС_{7а}$, 9-$МС_{7б}$, 9-$МС_{7в}$, 9-$МС_{7г}$, 9-$МС_{5б}$ и 9-$МС_{5в}$ соответственно).

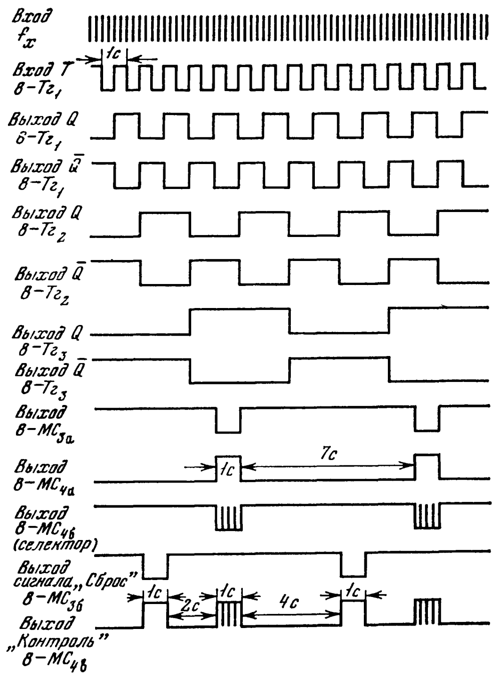


Рис. 13. Осциллограммы работы частотомера в режиме измерения частоты.

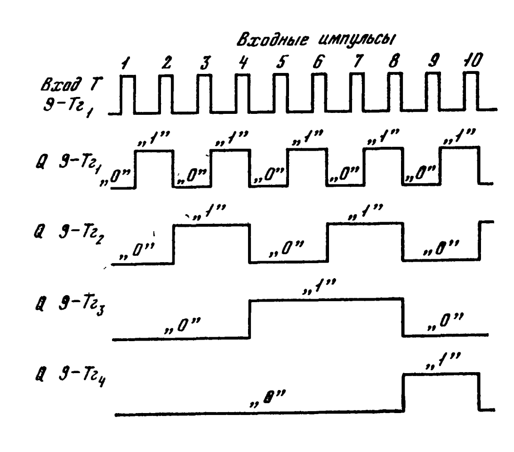


Рис. 14. Временная диаграмма работы десятичного счетчика.

Схемы совпадений с инверсией по выходу 9-$МС_{5г}$, 9-$МС_{8а}$, 9-$МС_{8б}$, 9-$МС_{8в}$, 9-$МС_9$, 9-$МС_{10а}$ и 9-$МС_{10б}$ служат для согласования семисегментного цифрового индикатора АЛ304Г с двоично-десятичным дешифратором.

Рассмотрим работу дешифратора при индикации цифры 4. На выходе Q триггеров 9-$Тг_1$, 9-$Тг_2$ и 9-$Тг_4$ низкий потенциал, а на выходе $Тг_3$ — высокий (рис. 14). Сигналы на выходах инверторов 9-$МС_{1а}$—9-$МС_{1г}$ имеют противопо-

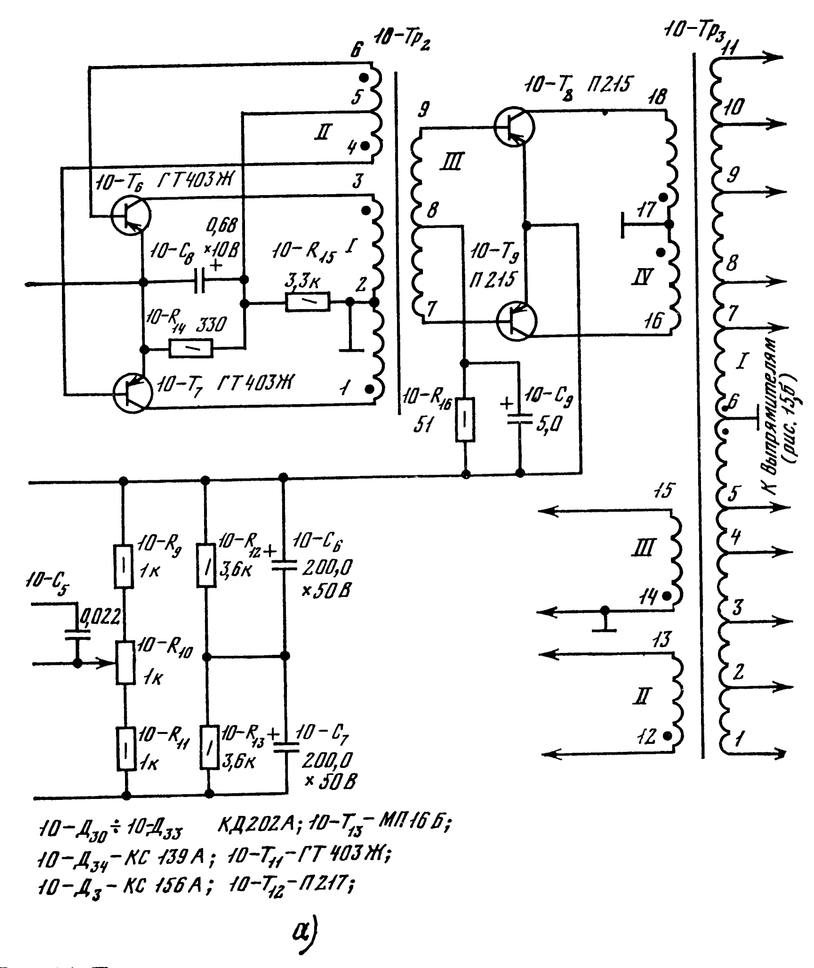
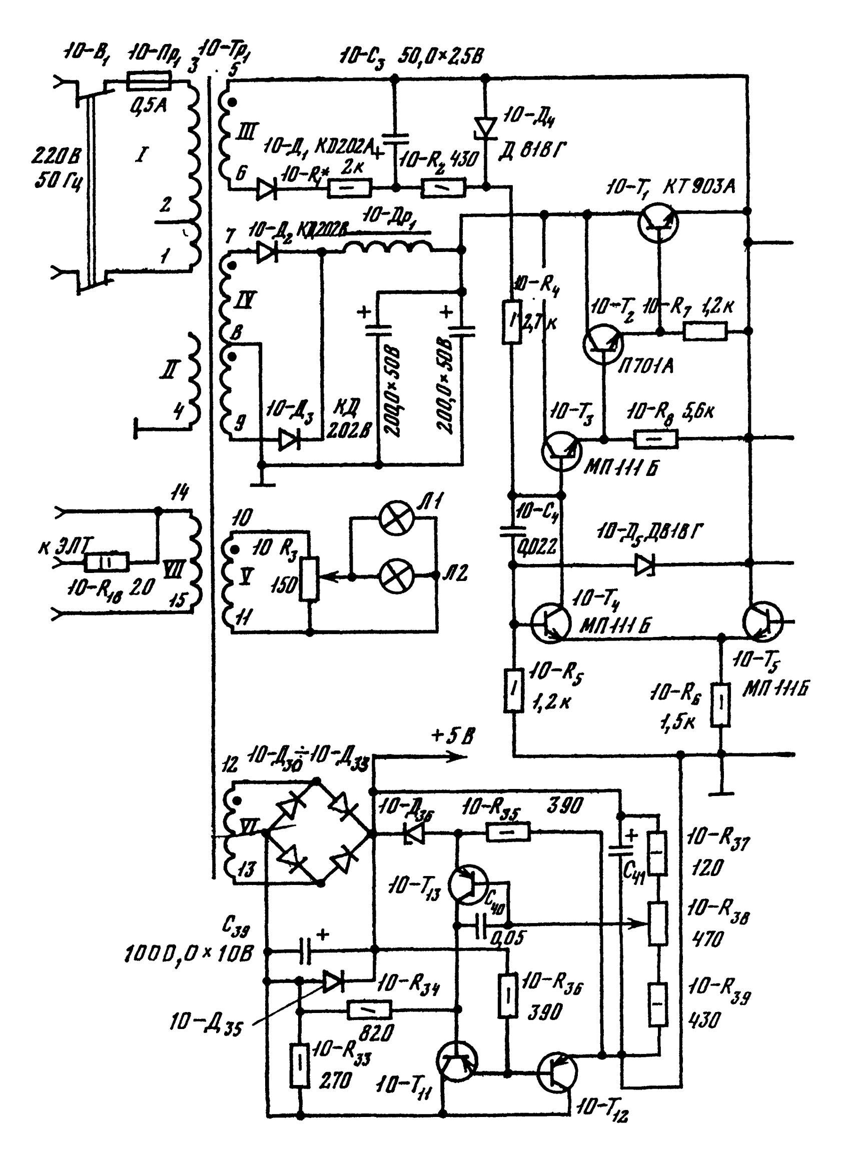


Рис. 15. Принципиальная схема блока питания.

ложное значение, т. е. на выходе $9\text{-}MC_{1а}$, $9\text{-}MC_{1б}$ и $9\text{-}MC_{1г}$ устанавливается *1*, а на выходе $9\text{-}MC_{1в}$ — *0*. В соответствии с логической схемой дешифратора на всех его выходах, кроме четвертого, появляются *1*. Сигнал логического нуля с выхода $9\text{-}MC_{7а}$, соответствующего четырем, поступает на элементы $9\text{-}MC_{5г}$, $9\text{-}MC_{8в}$ и $9\text{-}MC_{9}$, закрывая их. При этом происходит гашение сегментов *a*, *d* и *e* индикатора и изображается цифра 4, так как через открытые элементы $9\text{-}MC_{8а}$, $9\text{-}MC_{8б}$, $9\text{-}MC_{10а}$, $9\text{-}MC_{10б}$ и светодиоды сегментов *b*, *c*, *f*, *g* течет ток, вызывающий их свечение.

При индикации цифры 8 на всех выходах дешифратора устанавливаются *1* и светятся все семь сегментов индикатора. Выход *8* микросхемы $9\text{-}MC_{5б}$, на котором появляется *0*, к выходным элементам не подключается.

Напряжение питания на индикатор подается через ключ на транзисторе $9\text{-}T_{1}$, с помощью которого осуществляется гашение индикатора в процессе счета. Если гашение индикатора не требуется, то ключ можно исключить, либо замкнуть его базу на корпус переключателем $8\text{-}B_{6}$ (см. рис. 11).



БЛОК ПИТАНИЯ

Для обеспечения питающими напряжениями всех узлов осциллографа служит блок питания, принципиальная схема которого показана на рис. 15.

В состав блока входят: силовой трансформатор, выпрямители, стабилизатор преобразователя, преобразователь частоты, выходной трансформатор, выпрямители, источник питания интегральных схем, узел питания ЭЛТ.

С обмотки *IV* силового трансформатора переменное напряжение поступает на выпрямитель стабилизатора, который выполнен на диодах *10-Д*$_2$ и *10-Д*$_3$ (рис. 15,*а*) по двухполупериодной схеме. Фильтрация выпрямленного напряжения осуществляется фильтром (дроссель *10-Др*$_1$ и конденсаторы *10-С*$_1$, *10-С*$_2$), напряжение с которого подается на стабилизатор, выполненный на транзисторах *10-Т*$_1$—*10-Т*$_5$. Регулирующий каскад включает транзисторы *10-Т*$_1$—*10-Т*$_3$, а дифференциальный усилитель собран на транзисторах *10-Т*$_4$, *10-Т*$_5$.

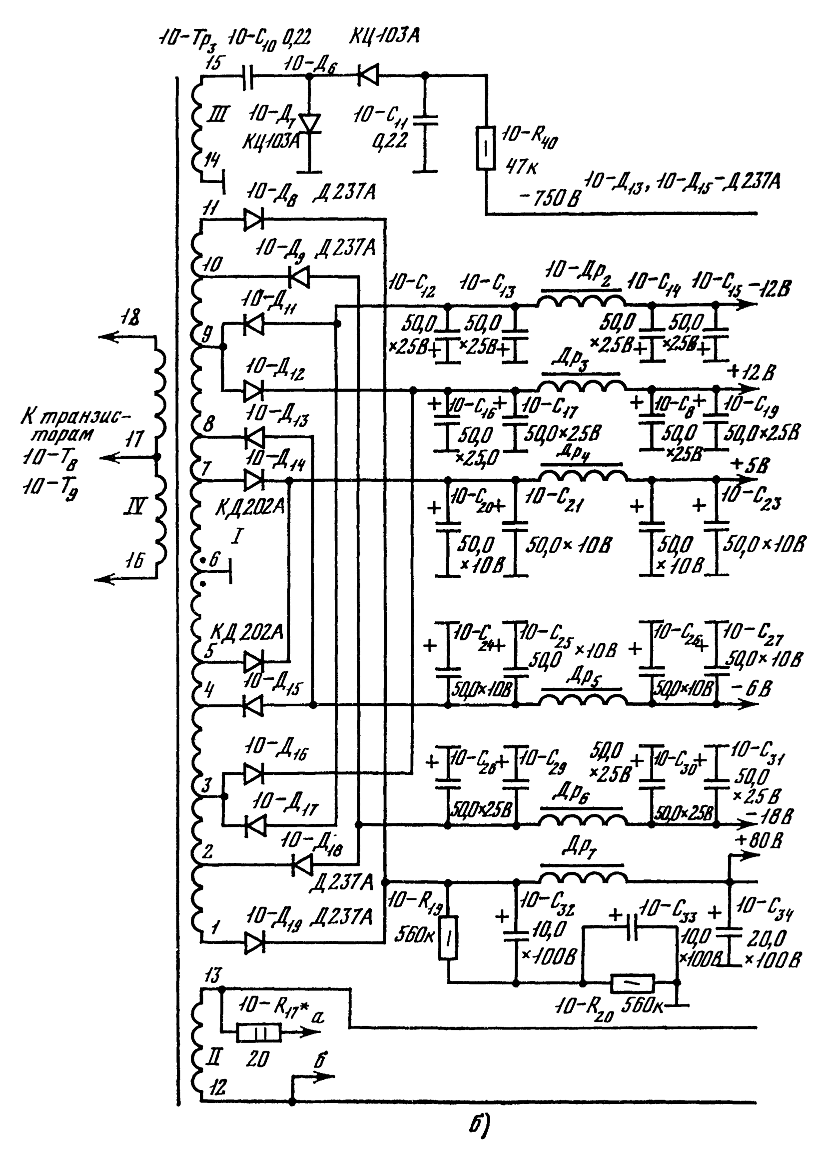
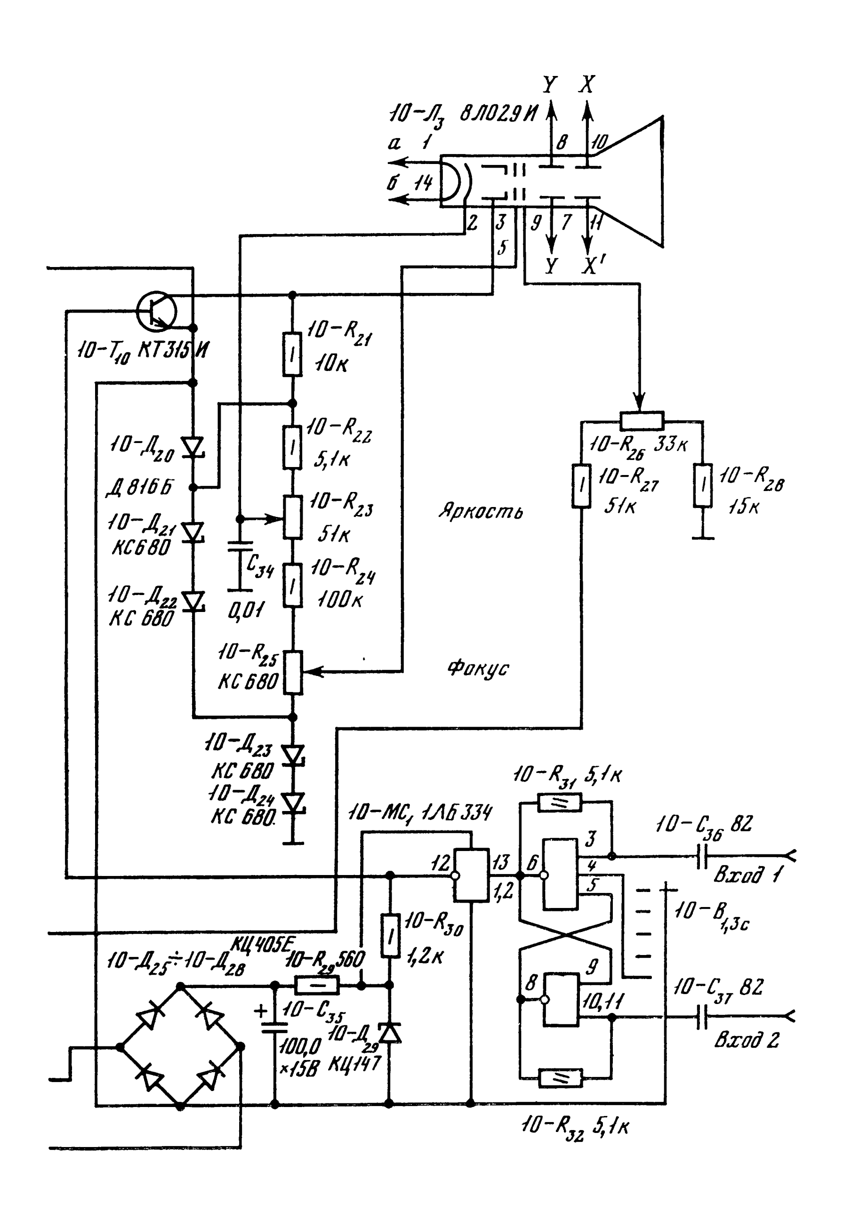


Рис. 15

При увеличении напряжения питающей сети соответственно увеличивается и напряжение на выходе стабилизатора, что вызывает возрастание отрицательного потенциала на базе транзистора *10-Т*$_5$. Транзистор *10-Т*$_5$ закрывается, а транзистор *10-Т*$_4$ открывается. В результате этого коллекторный ток транзистора *10-Т*$_4$ увеличивается и транзисторы *10-Т*$_1$—*10-Т*$_3$ подзакрываются, восстанавливая на выходе стабилизатора первоначальное напряжение. Аналогичным образом работает стабилизатор при уменьшении питающего напряжения, а также при изменении тока нагрузки.

Напряжение, которое снимается со стабилитрона *10-Д*$_5$, используется в качестве опорного. Источник напряжения смещения для транзистора *10-Т*$_3$ выполнен на диоде *10-Д*$_1$ и стабилитроне *10-Д*$_4$.



Выходное напряжение стабилизатора можно регулировать подстроечным резистором *10-R*$_{10}$ от 17 до 20 В. Конденсаторы *10-C*$_4$, *10-C*$_5$ и *10-C*$_6$, *10-C*$_7$ служат для устранения самовозбуждения схемы.

Стабилизированное напряжение подается на преобразователь напряжения, задающий каскад которого выполнен по симметричной двухтактной схеме с самовозбуждением на транзисторах *10-T*$_6$, *10-T*$_7$. Частота генерации около 2 кГц, форма импульсов прямоугольная. Усилитель мощности, выполненный на транзисторах *10-T*$_8$ и *10-T*$_9$, включенных по схеме с общим эмиттером, работает в режиме переключения.

Со вторичных обмоток трансформатора *10-Tp*$_3$ снимаются стабилизированные напряжения, которые затем выпрямляются и фильтруются.

Напряжения плюс 100, минус 18, минус 6, плюс 5, плюс 12 и минус 12 В используются для питания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Напряжение минус 750 В снимается со схемы удвоения напряжения, выполненной на диодах *10-Д*$_6$, *10-Д*$_7$ и конденсаторах *10-С*$_{10}$, *10-С*$_{11}$, и предназначено для питания электродов ЭЛТ через делитель *10-R*$_{21}$—*10-R*$_{25}$ и стабилизатор *10-Д*$_{20}$—*10-Д*$_{24}$.

Для питания схемы подсвета и гашения луча, выполненной на микросхеме *10-МС*$_1$ и транзисторе *10-Т*$_{10}$, служит выпрямитель на диодах *10-Д*$_{25}$—*10-Д*$_{28}$, напряжение которого стабилизировано на уровне +5 В стабилитроном *10-Д*$_{29}$. Для разделения цепей питания ЭЛТ от других источников этот выпрямитель собран на той же обмотке трансформатора *10-Тр*$_1$, с которой подается напряжение накала ЭЛТ. Для этой же цели служат разделительные конденсаторы *10-С*$_{36}$ и *10-С*$_{37}$. Схема подсвета и гашения луча представляет собой асинхронный *RS*-триггер, к выходу которого подключены инвертор и ключ (*10-МС*$_{1в}$, *10-Т*$_{10}$).

Импульс прямого хода развертки (подсвет) поступает на вход *1*, а импульс обратного хода (гашение) — на вход *2*. Переключаясь под действием импульсов, приходящих с генератора развертки, триггер управляет работой ключа, открывая его на время прямого хода развертки и закрывая — на время обратного. В результате этого изменяется ток электронного луча и соответственно его яркость. Для уменьшения времени переключения триггера и увеличения потенциала нуля на его выходе (относительно минусовой шины источника питания) служит резистор *10-R*$_{30}$. Для регулировки яркости и фокусировки предназначены переменные резисторы *10-R*$_{23}$ — *Яркость* и *10-R*$_{25}$ — *Фокус*. При работе осциллографа от внешнего генератора развертки схема подсвета и гашения луча отключается с помощью переключателя *10-В*$_{1,3с}$, движок которого устанавливается в нижнее по схеме положение. При этом яркость луча может регулироваться только с помощью *10-R*$_{23}$.

Для питания ТТЛ схем генератора развертки используется источник +5 В, напряжение для которого снимается с отвода *7* трансформатора *10-Тр*$_3$, а для питания цепей частотомера предназначен отдельный стабилизированный выпрямитель, выполненный на диодах *10-Д*$_{30}$—*10-Д*$_{33}$ и транзисторах *10-Т*$_{11}$—*10-Т*$_{13}$ (рис. 15,*а*).

В качестве стабилизирующего элемента в данной схеме применен составной транзистор *10-Т*$_{11}$—*10-Т*$_{12}$; транзистор *10-Т*$_{12}$ представляет собой эмиттерный повторитель, управляющий по току транзистором *10-Т*$_{11}$. На транзисторе *10-Т*$_{13}$ выполнен усилитель постоянного тока, а на диоде *10-Д*$_{34}$ и резисторе *10-R*$_{35}$ — источник опорного напряжения.

Параметрический стабилизатор, который собран на диоде *10-Д*$_{35}$ и резисторе *10-R*$_{33}$, предназначен для питания цепи коллектора *10-Т*$_{13}$.

В цепи отрицательной обратной связи, образованной усилителем постоянного тока, выходным делителем и источником опорного напряжения, происходит сравнение напряжения на диоде *10-Д*$_{34}$ с частью выходного напряжения, снимаемого с делителя *10-R*$_{37}$, *10-R*$_{39}$.

Таблица 7

Транзистор	Напряжение на выводах, В			Транзистор	Напряжение на выводах, В		
	Коллектор	Эмиттер	База		Коллектор	Эмиттер	База
10-Т$_1$ КТ903А	+26,0	+18,0	+18,5	*10-Т*$_8$ П215	+0,2	+18,0	+20,0
10-Т$_2$ П701А	+26,0	+18,0	+18,5	*10-Т*$_9$ П215	+0,19	+18,0	+20,0
10-Т$_3$ МП111Б	+26,0	+18,6	+19,0	*10-Т*$_{10}$ КТ315И	+27,0	0	0
10-Т$_4$ МП111Б	+19,0	+8,7	+9,0	*10-Т*$_{11}$ ГТ403Ж	—10,0	—5,5	—5,8
10-Т$_5$ МП111Б	+18,2	+8,7	+9,0	*10-Т*$_{12}$ П217	—10,0	[illegible]	—5,5
10-Т$_6$ ГТ403Ж	+0,1	+18,0	+20,0	*10-Т*$_{13}$ МП16Б	—5,8	—3,5	—2,8
10-Т$_7$ ГТ403Ж	+0,1	+18,0	+20,0				

Разностное напряжение усиливается транзистором $10\text{-}T_{13}$ и подается на регулирующий элемент.

При уменьшении выходного напряжения за счет цепи обратной связи уменьшается падение напряжения на регулирующем элементе и выходное напряжение сохраняется практически неизменным.

Переменный резистор $10\text{-}R_{38}$ позволяет регулировать выходное напряжение от 4,5 до 5,5 В, а конденсатор $10\text{-}C_{40}$ служит для устранения самовозбуждения схемы. Конденсаторы $10\text{-}C_{39}$ и $10\text{-}C_{41}$ — элементы фильтра.

Карта напряжений источника питания приведена в табл. 7.

КОНСТРУКЦИЯ И ДЕТАЛИ. НАЛАЖИВАНИЕ ПРИБОРА

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Конструктивно осциллограф представляет собой малогабаритный настольный прибор, имеющий следующие размеры: ширина 320, высота 140, глубина 280 мм. Несущий каркас прибора состоит из двух фрезерованных панелей, передней и задней. Панели соединены поперечными боковыми стяжками и средней перегородкой (рис. 16). Жесткость каркасу придают также П-образные крышки, верхняя и нижняя, которые одновременно являются и боковыми стенками. Крышки крепятся к ребрам панелей и к боковым стяжкам посредством винтов. Пазы между крышками прикрыты сверху декоративными планками.

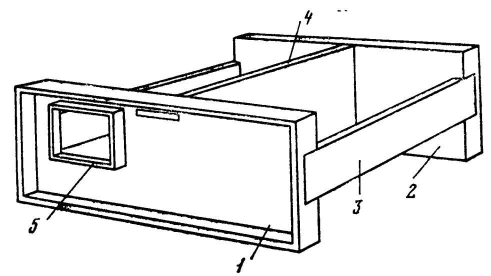


Рис. 16. Конструкция каркаса прибора.

1 — передняя панель; 2 — задняя панель; 3 — стяжка; 4 — средняя стенка (перегородка); 5 — обрамление ЭЛТ.

На передней панели осциллографа расположены основные органы управления, входные гнезда, экран ЭЛТ с обрамлением, цифровой индикатор счетчика и контрольные индикаторы (светодиоды).

Все органы управления и контроля, а также входные гнезда, снабжены соответствующими надписями и символами (рис. 17).

На задней панели расположены: разъем для подключения шнура питания, предохранитель, выходные и контрольные гнезда, вспомогательные органы управления и радиаторы с мощными транзисторами блока питания. К поддону (нижней крышке) прикреплена легкая подставка, которая вращается на шарнирах и позволяет в случае надобности приподнимать переднюю часть осциллографа над столом. Для переноски прибора служит ручка, которая укреплена сверху.

Вентиляция осциллографа осуществляется через специальные отверстия, имеющие форму узких прорезей и расположенные на верхней и нижней крышках.

Монтаж прибора выполнен на печатных платах, устанавливаемых вертикально. Крупногабаритные элементы и узлы, которые не умещаются на платах, крепятся на задней панели и внутренних перегородках. Для улучшения доступа к элементам, расположенным на печатных платах, при ремонте и настройке элементы устанавливаются в направляющих пазах, по которым могут передвигаться вверх или вниз. Основные монтажные жгуты и провода проложены в поддоне.

Электронно-лучевая трубка осциллографа заключена в стальной экран, который крепится к передней панели с помощью четырех пружин. Кроме того, экран ЭЛТ с помощью кольца крепится к боковой стяжке. Внутри экрана трубка закреплена при помощи уплотнительных резиновых колец.

Основные элементы блока питания расположены на задней панели. Крупные элементы приклеиваются к монтажным платам клеем или закрепляются с

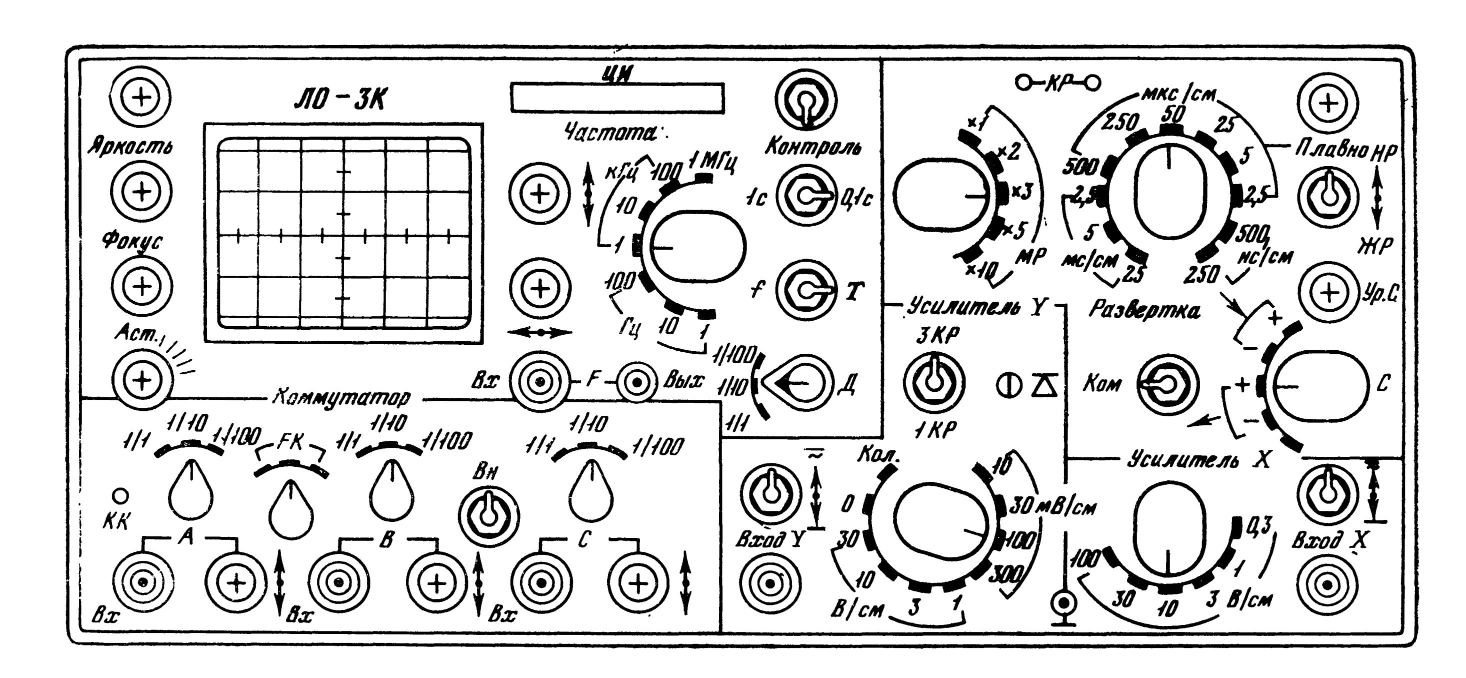


Рис. 17. Передняя панель прибора.

помощью обжимных хомутиков. Резисторы и конденсаторы, входящие в состав аттенюаторов, смонтированы непосредственно у переключателей и закрыты экранами.

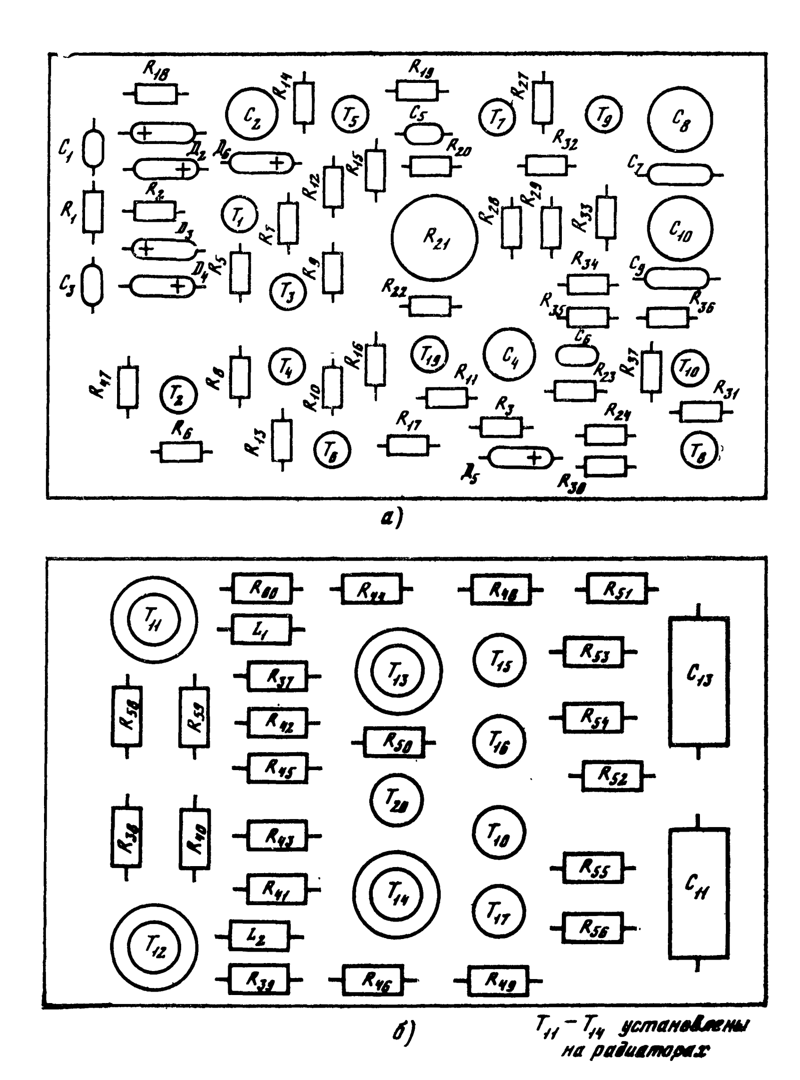


Рис. 18. Расположение элементов на печатных платах усилителя вертикального отклонения.

а — предварительный усилитель; *б* — оконечный усилитель.

Расположение элементов на печатных платах усилителя вертикального отклонения, усилителя горизонтального отклонения и генератора развертки показано на рис. 18, 19 и 20 соответственно.

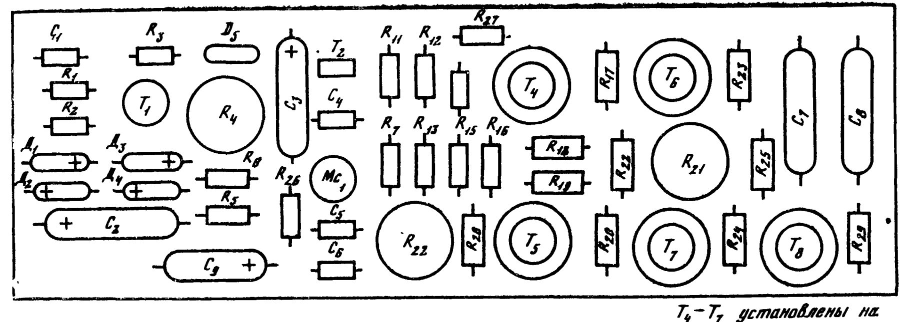
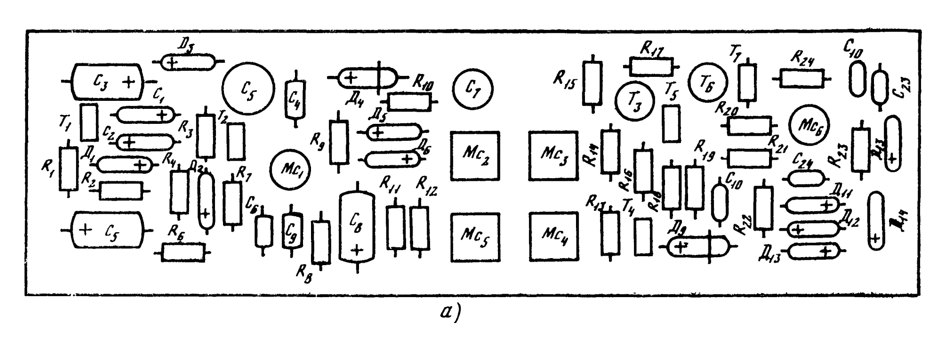


Рис. 19. Расположение элементов на печатной плате усилителя горизонтального отклонения.



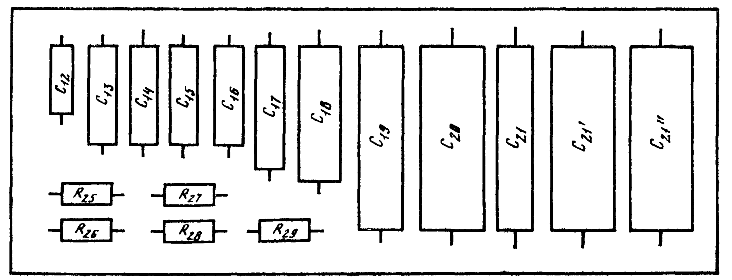


Рис. 20. Расположение элементов на печатной плате генератора развертки.
а — генератор; *б* — блок конденсаторов.

ЭЛЕМЕНТЫ И ДЕТАЛИ

В осциллографе использованы стандартные элементы и детали: резисторы — ОМЛТ, МТЕ, МТ, ТВО, ПТМН и С2-1, С2-13 (последние применены в делителях аттенюаторов); конденсаторы — КМ-3а, КМ-5а, КМ-6, КТ-1, К10-23, КСОТ, ССГ, МБГТ, К76П-1, К40У-9, МБГО, К42У-2, К75-10, К77-1, К73П, ЭМ, К50-3А, К50-3Б, К53-4, К50-6; в цепях аттенюаторов установлены подстроечные конденсаторы КТ2-19; переключатели — П2Г-3 (12П2Н, 6П2Н, 6П4Н), ПР2 (5П2НТ); микротумблеры МТ-1, МТ-3, П1Т4 и П1Т3; высокочастотные дроссели ДМ.

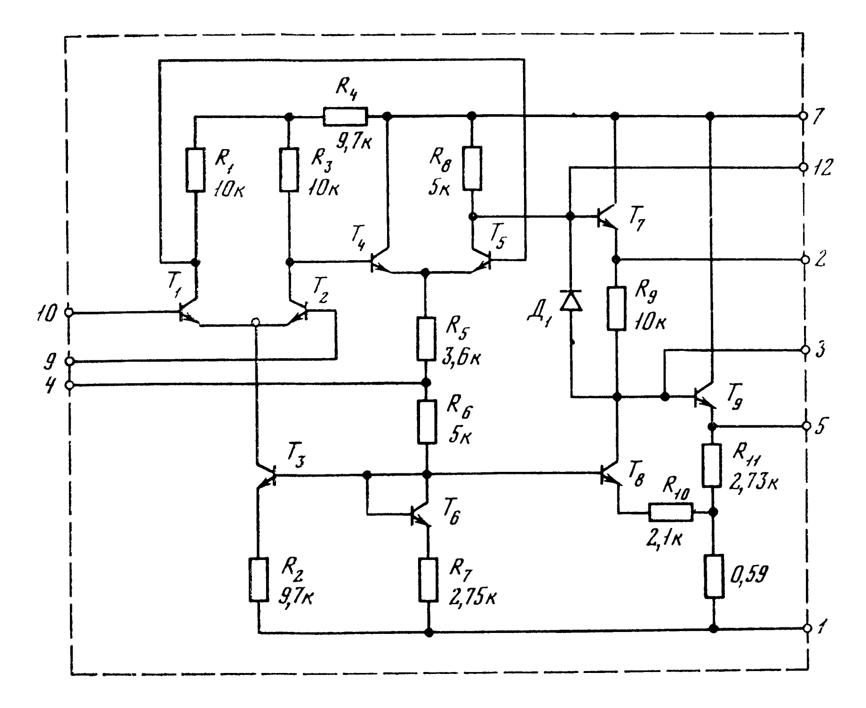


Рис. 21. Операционный усилитель К1УТ401Б.

Типы транзисторов, диодов и интегральных микросхем, используемых в приборе, приведены на принципиальных схемах.

Транзисторы оконечных усилителей каналов вертикального и горизонтального отклонения луча типов КТ602Б и КТ801А установлены на радиаторы с площадью охлаждения 5—6 см², а регулирующие транзисторы стабилизаторов напряжения имеют радиаторы с площадью охлаждения 25—30 см². На радиаторах укреплены и транзисторы усилителя мощности преобразователя напряжения *10*-T_8 и *10*-T_9, площадь охлаждения этих радиаторов 10 см².

Вместо указанных на принципиальных схемах полупроводниковых элементов можно применить и другие: например, транзисторы КТ602А могут быть заменены на КТ604Б, КТ611А; КТ315 — на КТ316, КТ342; МП111 — на МП101; КТ326 — на КТ351.

Диоды Д18 можно заменить на Д310, Д311; Д220 — на Д219; КД503— на КД509; выпрямительные диоды КД202 и Д237 могут быть заменены на Д242 и Д226 соответственно. Вместо выпрямительного столба КЦ103А можно применить диоды КД105Г или Д218.

Более подробно остановимся на микросхемах, применных в приборе.

Таблица А

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
1	Питание (—12,6 В)	*7*	Питание (+12,6 В)
2	Контрольный	*8*	—
3	Контрольный	*9*	Вход инвертируемый
4	Общий	*10*	Вход неинвертируемый
5	Выход	*11*	—
6	—	*12*	Контрольный

Микросхема К1УТ401Б, которая используется в предварительном усилителе горизонтального отклонения и в генераторе развертки, представляет собой операционный усилитель. Этот усилитель содержит два дифференциальных усилительных каскада: каскад смещения напряжения и выходной каскад (рис. 21).

На принципиальных схемах операционный усилитель обычно изображается в виде треугольника с обозначением двух входов и одного выхода. Один из входов усилителя, увеличение напряжения на котором приводит к увеличению

Таблица 8

Параметр	**Значение**
Коэффициент усиления	2000—10500
Полоса частот, МГц	До 20
Входной ток, мкА	Не более 12
Разность входных токов, мкА	Не более 3
Напряжение смещения нуля, мВ	Не более ±10
Входное синфазное напряжение, В	5—8
Амплитуда выходного сигнала, В	Не менее ±5,7
Входное сопротивление, кОм	5—10
Выходное сопротивление, Ом	100—500
Напряжение питания, В	±12,6
Потребляемый ток, мА	Не более 8

Для предотвращения самовозбуждения усилителя при введении отрицательной обратной связи необходима соответствующая частотная коррекция.

Коррекцию частотной характеристики усилителя К1УТ401Б рекомендуется осуществлять подключением последовательной *RC*-цепи между выводами *12* и землей (или выводом *1*). Коррекцию характеристики можно проводить и включением между выводами *2* и *3* небольшой емкости (от 2 до 5 пФ). Возможны и другие варианты корректирующих цепей. В частности, иногда целесообразно включать последовательную *RC*-цепь между выводом *9* и общим проводом источника питания или между выводом *12* и выводом *9*.

Таблица 9

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	±5,0
Коэффициент нагрузки	10
Выходное напряжение «0», В	Не более 0,35
Выходное напряжение «1», В	Не менее 2,4
Рабочая частота, МГц	Не более 10
Время задержки включения, нс	35—40
Напряжение помехи, В	Не более 0,4
Потребляемый ток, мА	15—60

напряжения на выходе, называется неинвертирующим и обозначается знаком «+». Второй вход носит название инвертирующего и обозначается знаком «—», так как сигнал, приложенный к нему, инвертируется на выходе.

Характеристики операционного усилителя К1УТ401Б приведены в табл. 8. Вместо операционного усилителя К1УТ401 можно использовать К1УТ531Б.

Микросхема 1ТК331, используемая в генераторе развертки, кольцевом счетчике коммутатора и в схеме управления частотомером, представляет собой универсальный *JK*-триггер. Этот триггер имеет как счетный вход *T* (тактовый), так и входы *J* и *K*, управляющие счетным входом. Если потенциал логической единицы подан на вход *J* (при *K*=0), то импульс на тактовом входе осуществляет установку триггера в состояние *1*, если *J*=0, а *K*=1, то импульс на вхо-

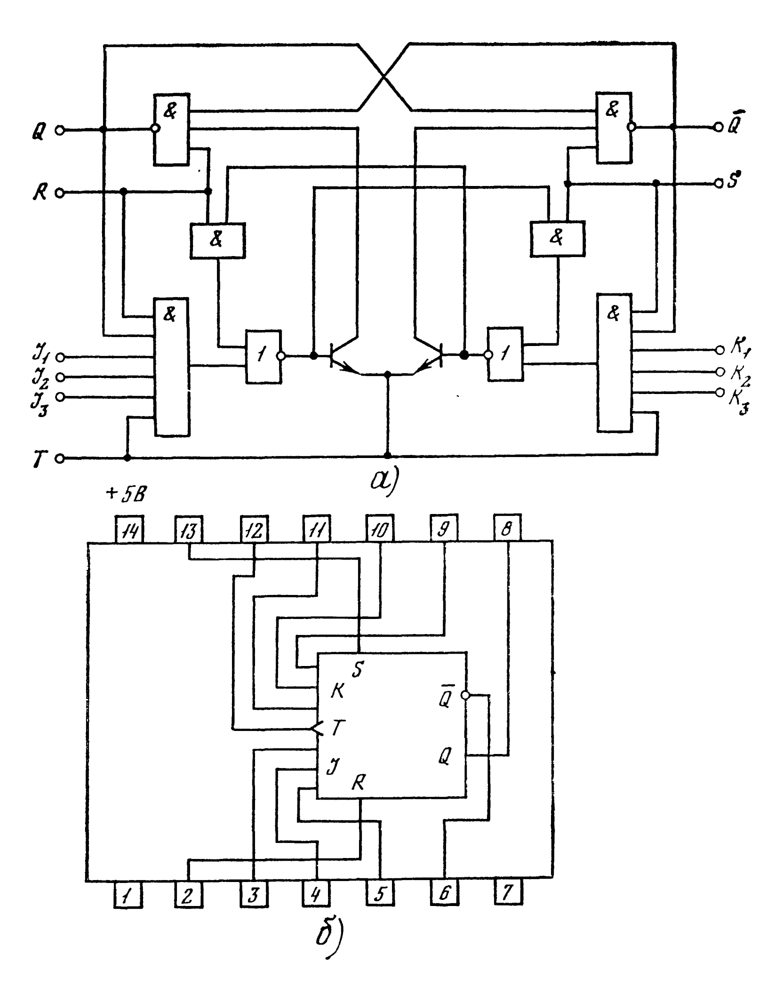


Рис. 22. Структурная схема триггера К1ТК331.

де T устанавливает триггер в состояние *0*. Если же $J=K=1$, то импульс на тактовом входе опрокидывает триггер в противоположное состояние, т. е. триггер работает в нормальном счетном режиме. Структурная схема триггера 1ТК331 показана на рис. 22,*а*, его цоколевка — на рис. 22,*б*.

Основные характеристики триггера 1ТК331 приведены в табл. 9.

Микросхема К1ИЕ551 является интегральным декадным счетчиком и предназначена для деления частоты входных сигналов на 10.

Структурная схема счетчика К1ИЕ551 показана на рис. 23, а основные технические характеристики приведены в табл. 10.

В качестве логических элементов в осциллографе применены интегральные транзисторно-транзисторные логические схемы (ТТЛ) серии К133. Микросхемы этой серии можно заменить соответствующими логическими элементами серий К130 или К136. Эти схемы состоят из цепи И, построенной на основе многоэмиттерного транзистора, и транзисторного инвертора. Принципиальная схема четырехвходового типового логического элемента серии К133 показана на рис. 24 (половина микросхемы К1ЛБ331).

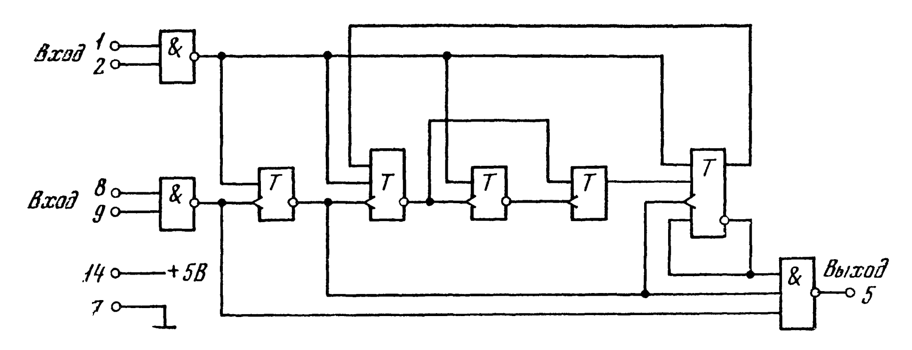


Рис. 23. Структурная схема десятичного счетчика К1ИЕ551.

Таблица 10

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	±5
Входной ток «1», мА	0,04
Входной ток «0», мА	—1,5
Напряжение выходного сигнала «1», В	Не менее 2,4
Напряжение выходного сигнала «0», В	Не более 0,4
Максимальная частота входного сигнала, МГц	10

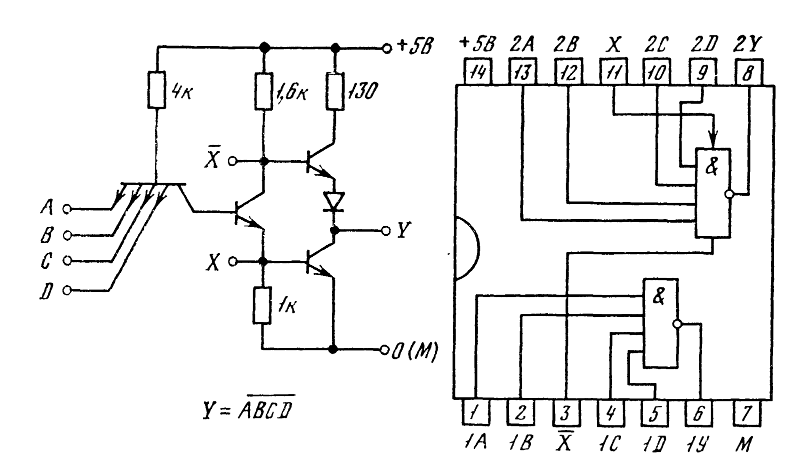
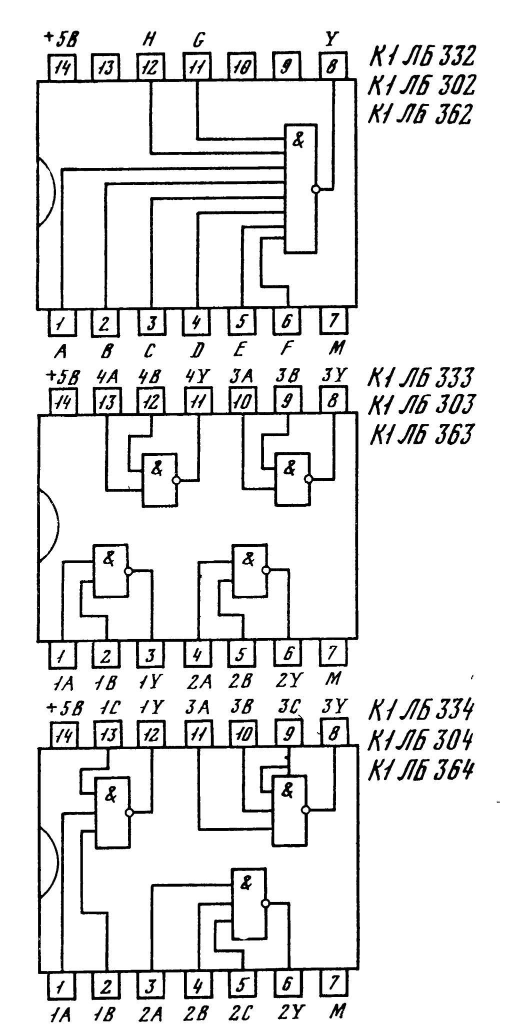


Рис. 24. Интегральная схема К1ЛБ331.

Четырехвходовую логическую цепь И образует многоэмиттерный транзистор. В случае подключения хотя бы одного эмиттера этого транзистора к потенциалу, близкому нулю, транзистор насыщается и подключает к нулевому потенциалу вход инвертора, в состав которого входят три одноэмиттерных транзистора. Если же на входы И подать потенциал, близкий напряжению питания (потенциал логической единицы), то переход база — коллектор много-

Рис. 25. Нумерация выводов логических ИС серии К133.



эмиттерного транзистора сместится в прямом направлении. Этот переход откроется и ток из базовой цепи будет подан на вход инвертора. Таким образом, реализуется логическая функция И—НЕ. Нумерация выводов логических ИС, используемых в приборе, приведена на рис. 25.

Все трансформаторы, используемые в приборе — самодельные. Силовой трансформатор *10-Тр*$_1$ (рис. 15,*а*) выполнен на сердечнике типа ШЛ25×32. Намоточные данные *10-Тр*$_1$ приведены в табл. 11.

Трансформаторы преобразователя напряжения *10-Тр*$_2$ и *10-Тр*$_3$ намотаны на тороидальные ферритовые сердечники М2000НМ1. Трансформатор задающего генератора выполнен на ферритовом кольце диаметром 20 мм; а трансформатор выходного каскада *10-Тр*$_3$ собран из двух колец размером К40×25×11 мм, склеенных вместе.

Намоточные данные трансформаторов преобразователя *10-Тр*$_2$ и *10-Тр*$_3$ приведены в табл. 12 и 13 соответственно. Вместо провода марки ПЭТВ можно применить провод ПЭВ-2.

Дроссели, используемые в блоке питания, стандартные: Д25-0,08-1,1 (Др$_1$); Д55-0,02-0.56 (Др$_2$—Др$_5$); Д64-0,08-0,1 (Др$_6$ и Др$_7$).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНТАЖУ

С целью рационального размещения элементов на монтажных платах и уменьшения их площади в приборе используются печатные платы из фольгированного стеклотекстолита с двухсторонним расположением печатных проводников. Толщина плат в зависимости от их размеров и характера деталей может быть от 1 до 2 мм. Ширина печатных проводников — не менее 0,5 мм, а минимальный диаметр контактной площадки — 2,5 мм^2.

Соединение проводников, расположенных на разных сторонах платы, осуществлено с помощью облуженного припоем монтажного провода диаметром 0,6—0,8 мм. Для этой цели можно использовать и трубчатые пистоны. Для перехода печатных проводников используются специальные отверстия. Делать переход с одной стороны платы на другую с помощью вывода радиодетали нежелательно, так как при замене элемента доступ к выводу со стороны расположения деталей может быть ограничен соседними элементами.

Радиодетали на печатных платах располагаются горизонтально с одной стороны. Для лучшей компоновки узлов частотомера, выполненных на интег-

Таблица 11

Обмотка	Выводы	Марка и диаметр провода, мм	Количество витков	Напряжение, В
I	1—2 2—3	ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,31	410 560	93 127
II	4	Экран	1	—
III	5—6 7—8	ПЭТВ-0,12 ПЭТВ-0,55	140 165	28 34
IV	8—9	ПЭТВ-0,55	165	34
V	10—11	ПЭТВ-0,23	31	6,3
VI	12—13	ПЭТВ-0,51	50	10
VII	14—15	ПЭТВ-0,41	60	12

Таблица 12

Обмотка	Выводы	Марка и диаметр провода, мм	Количество витков	Напряжение, В
I	1—2 2—3	ПЭТВ-0,15 ПЭТВ-0,15	262×2	18,5 18,5
II	4—5 5—6	ПЭТВ-0,15 ПЭТВ-0,15	36×2	2,5 2,5
III	7—8 8—9	ПЭТВ-0,15 ПЭТВ-0,15	36×2	2,5 2,5

Примечание. Трансформатор выполнен на сердечнике М2000НМ1—15, К20×12×6 мм.

Таблица 13

Обмотка	Выводы	Марка и диаметр провода, мм	Количество витков	Напряжение, В
I	1—2 2—3 3—4 4—5 5—6 6—7 7—8 8—9 9—10 10—11	ПЭТВ-0,2 ПЭТВ-0,2 ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,27 ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,27 ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,35 ПЭТВ-0,2	396 28 27 5 24 24 5 27 28 396	99,0 7,0 6,5 1,5 6,0 6,0 1,5 6,5 7,0 99,0
II	12—13	ПЭТВ-0,41	48	12,0
III	14—15	ПЭТВ-0,12	1520	380,0
IV	16—17 17—18	ПЭТВ-0,41 ПЭТВ-0,41	74×2	18,5 18,5

ральных схемах серии К133 (счетчики и дешифраторы) две печатные платы обратными сторонами соединяются вместе через изоляционную прокладку из тонкого гетинакса или стеклотекстолита.

Для распайки деталей на платах желательно применять маломощные паяльники (25—50 Вт) и пользоваться припоем ПОС-61, температура плавления которого сравнительно невысока — 185°С. Пайку можно проводить припоями и с более низкой температурой плавления, например ПОСК-50 или ПОСВ-33.

Выводы деталей (резисторов, конденсаторов, диодов) необходимо формовать и монтировать так, чтобы они не могли перемещаться в отверстиях платы.

При пайке и облуживании выводов полупроводниковых приборов и микросхем нужно обязательно пользоваться теплоотводом, в качестве которого можно использовать обычный пинцет или специальный захват с медными губками. Пайка должна проводиться с применением бескислотных флюсов, например, ФКСп. При отсутствии специальных флюсов можно использовать раствор канифоли в спирте. Выводы транзисторов и диодов допускается припаивать на расстоянии не менее 3—5 мм от корпуса. Их изгиб должен быть на расстоянии не менее 3 мм от корпуса с радиусом закругления не менее 1,5 мм.

Для предохранения диодов и транзисторов от повреждения при монтаже пайку следует проводить в течение 2—3 с; для мощных транзисторов это время увеличивают до 10 с.

Свободные (не задействованные) входы ТТЛ схем необходимо подключать к источнику питания +5 В через резистор 1 кОм. К одному резистору можно подключить до 10—12 свободных входов.

После монтажа элементов и настройки схем печатные платы желательно покрыть лаком УР-231 или Э-4100. Обычно компоновка элементов на печатных платах осуществляется с помощью аппликаций, но гораздо удобнее использовать для этой цели радиодетали, выводы которых сформированы нужным образом. Для установки элементов используется специальная макетная подложка, представляющая собой лист плотной бумаги, покрытой тонким слоем битумного лака (смесь битума, воска и канифоли).

На подложке очерчивается контур печатной платы, для которой предназначены подобранные элементы, а затем осуществляется их установка путем вдавливания выводов в лак согласно принципиальной схеме узла. После компоновки на отдельном листе вычерчивается расположение элементов с указанием их нумерации. Затем элементы с подложки снимаются, под нее подкладывается лист плотной бумаги и точки (углубления), образованные в битумном лаке выводами элементов, переносятся с помощью шила на подложенный лист. Вместо шила можно использовать остро отточенный твердый карандаш. Точки на бумаге обводятся кружками, между которыми наносится схематический рисунок элементов. После этого контактные площадки элементов соединяют между собой в соответствии с принципиальной схемой. Первоначальный карандашный рисунок печатных проводников обводится тушью двух цветов, например красной и черной. Красной тушью обозначаются проводники, расположенные на лицевой стороне платы, т. е. там, где установлены элементы, а черной — с обратной.

В углах вычерченной платы или на ее сторонах проставляются координатные точки, которые служат ориентирами при совмещении рисунков печатных проводников на прямой и обратной стороне.

Перенесение рисунка печатных проводников и контактных площадок на фольгированный стеклотекстолит (или гетинакс) осуществляется с помощью копировальной бумаги. В местах координатных точек и там, где должны быть отверстия, набивают керном углубления, затем рисунок и копировальную бумагу удаляют. Места фольги, которые будут служить проводниками, покрывают кислотоупорным лаком (нитролаком, цапонлаком, асфальтобитумным и т. п.) или маркировочными чернилами. Чернила предпочтительнее, так как позволяют наносить рисунок обычным пером.

Сначала на все набитые керном углубления ставят точки, а потом соединяют их между собой согласно схеме.

После высыхания лака плату ретушируют, т. е. подправляют рисунок тонким скальпелем или специальным скребком. Затем тонким сверлом (диаметром

0,8—1 мм) сверлят отверстия в местах координатных точек, плату переворачивают и, совместив эти отверстия с координатными точками на бумаге, скрепляют плату с рисунком (по верхнему краю) с помощью скрепок. После этого между платой и бумагой подкладывают копировальную бумагу и переносят рисунок печатных проводников на фольгу. Дальнейший процесс аналогичен описанному.

Травление платы производится раствором хлорного железа $FeCl_3$ плотностью 1,3 (для приготовления такого раствора в стакан емкостью 200 см³ кладут 150 г хлорного железа и заливают его водой до краев). В процессе травления ванночку с платой энергично покачивают и через каждые 5 мин осторожно протирают обе поверхности платы ватным тампоном.

НАЛАЖИВАНИЕ ПРИБОРА

Перед налаживанием прибора тщательно осматривают его монтаж, проверяют прочность закрепления крупных элементов и надежность паек. Осмотр монтажа рекомендуется осуществлять для каждой платы отдельно слева направо и сверху вниз. Это позволяет сократить время осмотра и избежать пропуска отдельных деталей.

После осмотра монтажа проверяют работоспособность источников питания и цепей ЭЛТ. При этом остальные узлы прибора должны быть отключены путем отпайки цепей питания от переходной колодки, установленной на выходе преобразователя напряжения. На время проверки источника питания к соответствующим лепесткам контактной колодки припаивают эквиваленты нагрузки — резисторы, сопротивления которых указаны в табл. 14.

Таблица 14

Выходное напряжение, В	Ток нагрузки, мА	Сопротивление нагрузки, кОм	Примечание
+34	820	0,03	На выходе выпрямителя стабилизатора
+5	50	0,1	На выходе выпрямителя преобразователя
+12	200	0,06	
—6	20	0,3	
—12	200	0,06	
—18	30	0,6	
+100	120	0,8	
—750	1	750	
+5	500	0,01	На выходе источника питания ИС
~12	620	0,018	Накал ЭЛТ

Схема подсвета луча отключается с помощью переключателя $10\text{-}В_{1,3с}$ (см. рис. 15,*б*).

Включив осциллограф в сеть, измеряют напряжения на электродах транзисторов блока питания и на выходных шинах. Измерение напряжений должно производиться вольтметром с большим входным сопротивлением, например ВК7-9, ВК7-15 и им подобным.

Ориентировочный перечень приборов, используемых при проверке и настройке осциллографа, приведен в табл. 15.

Измерив напряжения в блоке питания и добившись соответствия их с указанными в карте напряжениями, проверяют действия регулировок яркости и фокусировки, установив движок резистора $10\text{-}R_{26}$ (см. рис. 15,*б*) в среднее положение. Если все напряжения в цепях питания ЭЛТ в пределах нормы, а пятна на экране нет, то причиной этого может быть неисправность ЭЛТ, плохая установка панели на трубке или отсутствие в ней контакта с каким-либо электродом ЭЛТ.

Таблица 15

Наименование прибора	Тип	Основные характеристики	Применение
Генератор синусоидальных сигналов	Г3-7А	Диапазон частот 20 Гц — 10 МГц; выходное напряжение 100 мкВ — 30 В; погрешность установки частоты ±2%; погрешность выходного напряжения ±10%; коэффициент гармоник 3%	Используется при проверке полосы пропускания канала *Y* и синхронизации
Генератор синусоидальных сигналов	Г3-16	Диапазон частот 0,01—100 кГц; выходное напряжение 1 мВ — 25 В; установка частоты (0,2± ±0,001) Гц; погрешность выходного напряжения ±4%	Используется при проверке полосы пропускания канала *Y* и синхронизации
Генератор пилообразных, прямоугольных и синусоидальных сигналов	Г3-54	Диапазон частот 0,005—1000 Гц; выходное напряжение 10 В; погрешность установки частоты 0,03 Гц	Используется при проверке полосы пропускания каналов *Y* и *X*
Генератор сигналов	Г3-41	Диапазон частот 0,15—30 МГц; выходное напряжение 0,1—100 В; погрешность установки частоты ±1,5%; погрешность установки выходного напряжения ±10%	Используется при проверке полосы пропускания каналов *Y* и *X*
Генератор стандартных сигналов	Г4-18	Диапазон частот 0,1—35 МГц; выходное напряжение 1 мкВ — 1 В; погрешность установки частоты ±1%; погрешность установки выходного напряжения ±8%	Используется при проверке погрешности измерения временных интервалов
Генератор импульсов	Г5-15	Длительность импульсов 0.1—10 мкс; частота следования 40 Гц — 10 кГц; выходное напряжение 1—100 В; установка длительности импульсов ±10%	Используется при проверке схемы синхронизации и развертки

Наименование прибора	Тип	Основные характеристики	Применение
Частотомер электронно-счетный	Ч3-30	Выход стандартных частот от 0,1 Гц до 10 МГц, декадными ступенями; погрешность частоты кварцевого генератора 5×10^{-9} за сутки; диапазон частот при измерении длительности периодов $10-10^5$ Гц	Используется при проверке погрешности измерения временных интервалов и кварцевого генератора частотомера, а также отдельных его узлов
Вольтметр универсальный	ВК7-9	Пределы измерения напряжения постоянного тока 100 мВ — 500 В, переменного тока 300 мВ — 1000 В; погрешность ±(2,5—4) %; входное сопротивление 3—15 МОм	Используется при проверке полосы пропускания канала Y и настройке источников питания
Вольтметр универсальный	В7-15	Пределы измерения напряжения постоянного тока 30 мВ — 1000 В, переменного тока 200 мВ — 100 В; класс точности 2,5; входное сопротивление 15 МОм	Используется при проверке полосы пропускания канала Y и настройке источников питания
Осциллограф	С1-19Б	Полоса пропускания 0—1 МГц; коэффициент отклонения 2 мВ/см; развертка 10^{-7}—10 с/см; погрешность измерения 10%; выход калибратора — меандр 1000 Гц	Используется при настройке каналов Y и X осциллографа, генератора развертки и других узлов
Осциллограф	С1-50	Полоса пропускания 0—25 МГц; коэффициент отклонения 40 мВ/см; развертка от 0,03 мкс/см до 85 мс/см; погрешность измерения 5%	Используется при настройке каналов Y и X осциллографа, генератора развертки и узлов частотомера

Примечание. Перечисленные в таблице приборы могут быть заменены другими с аналогичными техническими характеристиками.

Перед налаживанием усилителя вертикального отклонения необходимо подключить его к блоку питания, переключателем $2\text{-}B_1$ отключить цепь $2\text{-}R_{25}$ $2\text{-}R_{26}$, а движки потенциометров $2\text{-}R_4$, $2\text{-}R_{21}$ и $2\text{-}R_{57}$ (см. рис. 3) установить в среднее положение.

После подключения питающих напряжений потенциометром $2\text{-}R_{57}$ устанавливают на коллекторах транзисторов $2\text{-}T_{11}$ и $2\text{-}T_{12}$ одинаковые напряжения относительно корпуса прибора. Затем подбором резисторов $2\text{-}R_{29}$ и $2\text{-}R_{30}$ выравнивают напряжения на коллекторах транзисторов $2\text{-}T_7$ и $2\text{-}T_8$.

Делители $2\text{-}R_{33}$, $2\text{-}R_{34}$ и $2\text{-}R_{36}$, $2\text{-}R_{35}$ обеспечивают равенство напряжений на эмиттерах транзисторов $2\text{-}T_5$ и $2\text{-}T_6$ на уровне минус 0,7 В. Это напряжение зависит от разброса параметров полевых транзисторов $2\text{-}T_1$ и $2\text{-}T_2$. Максимальной амплитуды постоянного напряжения на коллекторах транзисторов $2\text{-}T_{11}$ и $2\text{-}T_{12}$ добиваются путем подбора резисторов $2\text{-}R_{38}$, $2\text{-}R_{58}$ и $2\text{-}R_{59}$.

После того как напряжения в контрольных точках усилителя вертикального отклонения будут соответствовать указанным в табл. 1, подают напряжение от генератора к различным его каскадам начиная с выхода и наблюдают появление сигнала на экране ЭЛТ, который должен иметь вид тонкой вертикальной черты.

Налаживание усилителя горизонтального отклонения начинают с проверки напряжений в контрольных точках по табл. 5, предварительно установив движки потенциометров $5\text{-}R_9$, $5\text{-}R_{14}$ и $5\text{-}R_{21}$ в среднее положение, а движок переключателя $5\text{-}B_{1.10}$ (см. рис. 6) — в нижнее. Затем подбором резисторов $5\text{-}R_{18}$ и $5\text{-}R_{19}$ выравнивают напряжения на коллекторах транзисторов $5\text{-}T_4$ и $5\text{-}T_5$.

Особое внимание уделяется настройке каскада предварительного усиления, выполненного на микросхеме $5\text{-}MC_1$. При этом подбирают цепи частотной коррекции ($5\text{-}C_5$ $5\text{-}C_9$ $5\text{-}R_6$) и резисторы обратной связи $5\text{-}R_7 \div 5\text{-}R_{10}$, с помощью которых обеспечивается необходимый коэффициент усиления в заданной полосе частот.

Окончательная проверка усилителя горизонтального отклонения осуществляется с помощью генератора низкой частоты, с которого на вход усилителя подают сигнал амплитудой 0,3—0,5 В, частотой 1—2 кГц. Наблюдая изображение линии развертки на экране ЭЛТ, устанавливают максимальный коэффициент отклонения подстроечным резистором $5\text{-}R_{21}$. При этом движок потенциометра регулировки усиления предварительного каскада $5\text{-}R_9$ должен находиться в среднем положении. Сопротивления резисторов $5\text{-}R_{13}$ и $5\text{-}R_{15}$ подбираются такими, чтобы с помощью потенциометра $5\text{-}R_{14}$ можно было перемещать линию развертки вправо и влево на 20—25 мм.

Налаживание генератора развертки начинают с его установки в режим автоколебаний, для этого переключатель $3\text{-}B_4$ (см. рис. 4) ставят в положение *Непрерывная развертка* и вращением ручки потенциометра $3\text{-}R_{30}$ добиваются появления на экране ЭЛТ линии развертки. При этом множитель развертки $3\text{-}B_2$ должен стоять в положении «X 1», а переключатель длительности $3\text{-}B_3$ в любом из положений, соответствующих длительностям от 2,5 мс/см до 50 мкс/см.

Правильность работы генератора проверяют с помощью контрольного осциллографа, наблюдая осциллограммы в его контрольных точках (см. табл. 2—4).

Во время проверки генератора развертки схема подсвета и гашения луча должна быть подключена, т. е. переключатель синхронизации $10\text{-}B_{1,3}$ (рис. 15,*б*) должен находиться в верхнем по схеме положении.

После проверки работы генератора на двух-трех поддиапазонах переходят к проверке генерации на всех остальных поддиапазонах и устанавливают их границы подбором конденсаторов $3\text{-}C_{12}$—$3\text{-}C_{22}$.

Убедившись в устойчивой работе генератора развертки в непрерывном режиме, переключатель $3\text{-}B_4$ переводят в положение *Ждущая развертка* и, подключив вход схемы синхронизации к внешнему генератору сигналов, проверяют работу генератора в ждущем режиме. Амплитуда запускающих импульсов при этом должна составлять от 0,5 до 2 В.

Формируемые на выходе микросхемы $3\text{-}MC_1$ прямоугольные импульсы должны иметь частоту повторения, равную частоте входного сигнала. При вращении ручки потенциометра $3\text{-}R_5$ *Уровень* должна плавно изменяться скважность последовательности импульсов.

Когда все узлы генератора развертки будут проверены, приступают к настройке множителя развертки, подбирая резисторы $3\text{-}R_{25}$—$3\text{-}R_{29}$.

Налаживание коммутатора сводится к проверке входных каналов, ключевых схем, генератора коммутирующих импульсов и кольцевого счетчика. Эту проверку удобно осуществлять по карте режимов (см. табл. 6) и осциллограммам рис. 9. Входные каналы коммутатора проверяют каждый отдельно путем подачи сигналов синусоидальной формы на их вход. Подбором резисторов $6\text{-}R_7$ и $6\text{-}R_8$ (см. рис. 7) добиваются того, чтобы амплитуда сигнала в точке их соединения (на катоде $6\text{-}Д_6$) была равна амплитуде входного сигнала.

Работу ключевых схем проверяют с помощью прямоугольных импульсов амплитудой от 2,5 до 4,5 В, которые подают на вход транзистора *6-*T_3 через резистор *6-*R_{13}.

Пропадание синусоидального входного сигнала на выходе эмиттерного повторителя *6-*T_4 должно наблюдаться при поступлении на базу ключевого транзистора *6-*T_3 положительного полупериода коммутирующего импульса, длительность которого выбирается во много раз большей длительности исследуемого сигнала.

Нормальная работа ключевой схемы устанавливается подбором резистора *6-*R_{15}.

Формирующее устройство генератор коммутирующих импульсов и кольцевой счетчик особого налаживания не требуют. Необходимо только установить симметрию выходного напряжения генератора с помощью подстроечного резистора *7-*R_5 (см. рис. 8) и подбором конденсаторов *7-*C_4—*7-*C_7, *7-*C_5—*7-*C_8 и *7-*C_6—*7-*C_9.

Если все узлы коммутатора работают нормально, то на экране ЭЛТ наблюдаются три линии развертки, которые взаимно должны перемещаться при вращении одноименных ручек потенциометров *6-*R_{10}. В случае появления на экране ЭЛТ только одной линии развертки нужно нажать кнопку *7-*B_4 *Пуск*.

При больших длительностях развертки (в несколько раз превышающих длительность коммутирующих импульсов) на экране трубки контрольного осциллографа должно наблюдаться напряжение ступенчатой формы (в случае, когда линии развертки взаимно смещены).

Налаживание частотомера начинают с проверки работы схемы стабилизатора напряжения +5 В в блоке питания. Затем проверяют генератор образцовой частоты. Режим самовозбуждения устанавливают подбором резисторов *8-*R_6 и *8-*R_7 (см. рис. 11). После того как будет достигнута устойчивая работа генератора образцовой частоты, переходят к проверке делителя частоты, собранного на микросхемах *8-*MC_5 и *8-*MC_{10}. Так как микросхемы соединены между собой последовательно, то с выхода каждой из них будет сниматься частота, пониженная относительно входной в 10 раз. Измерения частот, вырабатываемых генератором образцовой частоты, можно осуществлять с помощью вспомогательного частотомера.

Для проверки формирователя пользуются генератором стандартных сигналов, с выхода которого сигнал частотой 1 МГц и амплитудой 2,5—3 В подают на вход транзистора *8-*T_1. При этом на выходе инвертора *8-*$MC_{2г}$ должны наблюдаться прямоугольные импульсы с крутыми фронтами.

Работа делителя частоты исследуемых сигналов проверяется путем подачи на вход *8-*MC_{11} сигнала частотой 1 МГц, вырабатываемого генератором образцовой частоты (или от внешнего источника сигналов).

Дальнейшая проверка узлов частотомера производится в режиме самоконтроля. Для этого переключатель *8-*B_5 устанавливают в положение *Контроль*, а переключатели *8-*B_3 и *8-*B_4 — в положения *Измерение F* и *1с* соответственно.

При переводе движка переключателя *8-*B_1 из положения *7* в положение *2* (последовательно, через 10—12 с) на цифровом индикаторе должны отображаться числа 1 000 000, 100 000, 10 000, 1 000, 100 и 10.

После налаживания осциллографа определяют его основные технические характеристики: входное сопротивление канала вертикального отклонения, коэффициенты деления аттенюаторов и их частотную компенсацию, полосу пропускания усилителей вертикального и горизонтального отклонения, чувствительность усилителей, погрешность измерения амплитуд исследуемых сигналов, дрейф нулевой линии, погрешность измерения частоты и временных интервалов, качество синхронизации и нелинейность развертки.

Входное сопротивление осциллографа можно определить следующим способом. Между источником синусоидального напряжения низкой частоты и входом усилителя включают переменный резистор сопротивлением 2 МОм. Вначале движок переменного резистора выводят на нуль (или закорачивают его выводы) и в этом положении измеряют высоту изображения сигналов на экране ЭЛТ. Затем ручку переменного резистора вращают до тех пор, пока изображение сигнала на экране не уменьшится вдвое по сравнению с первоначальным. После этого переменный резистор отключают и измеряют его сопротив-

ление. Оно будет равно входному активному сопротивлению исследуемого усилителя. Частота сигнала при этих измерениях выбирается от 100 до 500 Гц.

Входную емкость прибора измеряют на частоте 100 кГц—1 МГц. Методика измерения подобна рассмотренной. Но при этом вместо резистора между источником сигнала и входом усилителя включают переменный конденсатор емкостью 25—60 пФ. Вначале, закоротив конденсатор, измеряют размер изображения сигнала на экране трубки, а затем, убрав перемычку, подстраивают переменный конденсатор до тех пор, пока изображение на экране ЭЛТ не уменьшится вдвое. Емкость конденсатора, измеренная после отключения его из цепи, будет равна входной емкости осциллографа.

Коэффициент деления аттенюаторов проверяют путем сопоставления его с образцовым делителем напряжения, в качестве которого можно использовать, например, делитель какого-либо стандартного прибора. При положениях образцового делителя 1 : 100, 1 : 10, 1 : 1 и соответствующих положениях аттенюатора исследуемого канала 1 : 1, 1 : 10 и 1 : 100 наблюдают за изменением высоты изображения сигнала на экране ЭЛТ. При правильно подобранных элементах аттенюатора высота изображения не должна изменяться более чем на ±5%.

Меньшие соотношения ступеней деления 1 : 2, 1 : 3 и 1 : 5 проверяют путем измерения высоты изображения до и после переключения делителя. При неудовлетворительных результатах подбирают сопротивления резисторов аттенюатора до получения необходимого коэффициента деления.

Частотную компенсацию аттенюатора проверяют подачей на его вход импульсов прямоугольной формы длительностью 10—50 мкс от генератора Г5-15 или ему подобного. Для компенсации делителя можно использовать также выход калибратора контрольного осциллографа, например С1-34, С1-49, С1-19Б, или сигналы, снимаемые с выхода делителя частоты кварцевого генератора частотомера (выход $F_{ст}$). Искажения формы импульсов корректируют при помощи подстроечных конденсаторов так, чтобы передняя часть импульса не имела ни выбросов, ни завалов, а вершина его была горизонтальной.

Полосу пропускания усилителей вертикального и горизонтального отклонения проверяют путем снятия их частотной характеристики. Частотную характеристику снимают для каждого положения аттенюатора отдельно начиная с наибольшей чувствительности путем подачи на вход усилителя сигналов от внешнего генератора. При этом выходное напряжение генератора устанавливают таким, чтобы изображение сигнала на экране ЭЛТ составляло 25—30 мм на частоте 100 кГц.

Высоту осциллограммы проверяют на частотах 1, 10, 100 Гц, 1, 10, 100 кГц, 1, 2, 3, 5 и 10 МГц, при этом используют генераторы Г3-16 и Г3-7А. Напряжение на входе усилителя поддерживают постоянным, контролируя его амплитуду по встроенным вольтметрам генераторов (или внешнему вольтметру). При сохранении амплитуды выходного напряжения генератора на различных частотах размер изображения сигнала на экране трубки будет меняться. Отношение максимального изображения к минимальному в полосе частот осциллографа не должно превышать 1,4 (3 дБ).

Чувствительность усилителей измеряют подачей на их вход синусоидального сигнала калиброванной амплитуды частотой 1 кГц. Сигнал на выходе генератора должен быть таким, чтобы размер изображения на экране ЭЛТ был не менее 30 мм.

При определении чувствительности осциллографа можно воспользоваться любым генератором низкой частоты, выходное напряжение которого контролируется вольтметром. Так как большинство вольтметров проградуировано в среднеквадратических (действующих) значениях синусоидального напряжения, а общее отклонение луча на экране ЭЛТ пропорционально амплитудным значениям, считая от пика до пика, то при пересчете действующего значения в амплитудное нужно показания вольтметра умножить на 2,8. Если, например, на вход усилителя вертикального отклонения подано синусоидальное напряжение, которое вызвало отклонение луча на 40 мм, а вольтметр показывает 2 В, то чувствительность будет равна $40/2=20$ мм/В действующего напряжения или $40/(2{,}8\times2)=7$ мм/В амплитудного.

Чувствительность каналов осциллографа можно проверить также с помощью импульсных напряжений. При этом импульсы, подаваемые на вход усилителя, должны иметь плоскую вершину без больших выбросов и завалов.

В справочниках по осциллографам иногда приводят различные величины: или чувствительность, или коэффициент отклонения, причем в различных размерностях. Чтобы иметь возможность сравнить рассматриваемый прибор с осциллографами промышленного изготовления (или аналогичными любительскими), в табл. 16 приведены примеры пересчета коэффициента отклонения в чувствительность и наоборот.

Таблица 16

Чувствительность (размер/напряжение)	Коэффициент отклонения (напряжение/размер)
$A_Y \dfrac{\text{мм}}{\text{В среднекв.}}$	$\dfrac{10\,000}{A_Y} \dfrac{\text{мВ среднекв.}}{\text{см}}$
$A_Y \dfrac{\text{см}}{\text{мВ среднекв.}}$	$\dfrac{1}{A_Y} \dfrac{\text{мВ среднекв.}}{\text{см}}$
$A_Y \dfrac{\text{см}}{\text{В среднекв.}}$	$\dfrac{1000}{A_Y} \dfrac{\text{мкВ среднекв.}}{\text{см}}$

Погрешность измерения амплитуды проверяют подачей калиброванного напряжения низкой частоты (50—100 Гц) на вход усилителя вертикального отклонения. Проверку производят во всех положениях аттенюатора при размере изображения на экране ЭЛТ по вертикали 20, 30 и 40 мм.

Результаты проверки считают удовлетворительными, если погрешность измерения амплитуды с линейным размером от 20 до 40 мм не превышает ±5%.

Погрешность определяют по формуле

$$\delta = \frac{U_{\text{изм}} - U_{\text{кал}}}{U_{\text{кал}}} 100\%, \qquad (1)$$

где $U_{\text{изм}}$ — размах напряжения, измеренного испытуемым осциллографом, В; $U_{\text{кал}}$ — размах калиброванного напряжения, подаваемого от генератора, В.

Дрейф нулевой линии проверяют при максимальном усилении в нормальных условиях эксплуатации. Осциллограф прогревают в течение 30 мин, устанавливают режим непрерывной развертки и после тщательной балансировки усилителя вертикального отклонения производят совмещение линии развертки с осевой линией шкалы ЭЛТ. По истечении 30 мин проверяют смещение линии развертки по вертикали от первоначального положения. Это смещение не должно превышать 5—6 мм.

Погрешность измерения временных интервалов (по шкале ЭЛТ) проверяют методом измерения заранее известных интервалов времени, которые задаются либо измерителем малых интервалов времени типа И2-9А, либо генераторами Г4-18, Г3-33А, либо кварцевым генератором встроенного частотомера.

Измерение временного интервала производят на четырех или пяти делениях шкалы осциллографа в начале, середине и в конце рабочей части развертки. Если измерение выполнено на четырех делениях, то погрешность измерения определяют по формуле

$$\delta = \frac{4 - l}{4} 100, \qquad (2)$$

где l — длина части шкалы в делениях, соответствующая четырем периодам изображения сигнала калиброванной частоты.

Рабочим участком развертки является участок, длину которого обычно принимают равной 10 делениям; при этом начало рабочего участка развертки должно быть совмещено с началом шкалы осциллографа.

Результат проверки считают удовлетворительным, если погрешность измерения временных интервалов не превышает $\pm 10\%$.

Синхронизацию развертки проверяют на каждом диапазоне развертки в пределах всей полосы частот синхронизации при минимальном и максимальном напряжениях синхронизации как в режиме внешней, так и внутренней синхронизации.

Для проверки синхронизации используют генератор Г3-16, с выхода которого сигнал частотой 1 Гц подают на *Вход X* канала горизонтального отклонения. Синхронизация должна быть устойчивой при амплитуде сигнала не более 0,5—0,6 В. Сигнал синхронизации контролируют испытуемым осциллографом.

При запуске схемы синхронизации от внутреннего источника на вход усилителя вертикального отклонения подают импульсы длительностью от 0,5 до 5 мкс от генератора импульсов Г3-16 (или Г5-6А). Частота следования импульсов 20—50 Гц. Амплитуду импульсов устанавливают такой, чтобы высота осциллограммы была не более 5—10 мм. Синхронизация должна быть устойчивой при определенном положении ручки *Уровень* и запуске отрицательными и положительными импульсами.

Аналогичным образом проверяют работу схемы синхронизации при подаче сигналов синусоидальной формы частотой 20, 100 Гц, 1 кГц, 1, 3, 5 и 10 МГц от генератора Г3-7А.

Синхронизация считается устойчивой, если изображение сигнала неподвижно, дрожания и подергивания не наблюдается.

Нелинейность развертки, которая выражается в изменении размера изображения по оси X в разных местах развертки при наблюдении одного и того же сигнала, проверяется следующим образом.

На вход усилителя вертикального отклонения подают сигнал синусоидальной формы такой частоты, чтобы на рабочей части экрана получить 7—10 периодов синусоиды (рис. 26).

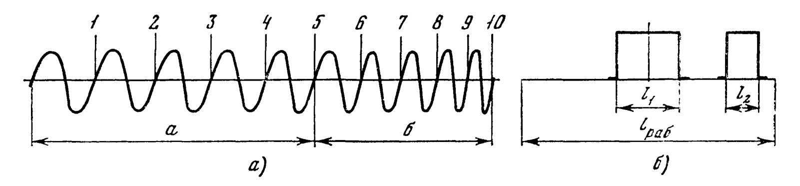


Рис. 26. Определение нелинейности развертки по изображению синусоидального сигнала (*а*) и по изображению прямоугольного импульса (*б*).

При этом нелинейность определяют по формуле

$$\frac{a - б}{a + б} 100\%, \tag{3}$$

где *а* и *б* — наибольшее и наименьшее расстояния, занимаемые одинаковым количеством периодов исследуемого сигнала.

Если нелинейность определяют в режиме ждущей развертки, то рассматривают изменение ширины прямоугольного импульса при смещении его от середины шкалы ЭЛТ на край рабочей части.

В этом случае нелинейность развертки определяют по формуле

$$(l_1 - l_2) 100\%, \tag{4}$$

где l_1 — размер изображения в середине шкалы, см; l_2 — размер изображения, сдвинутого на край шкалы, см.

Погрешность частоты кварцевого генератора определяется путем сравнения с частотой вторичного эталона частоты, в качестве которого можно использовать установку для проверки частотомеров Ч0-7, стандарт частоты Ч1-28 или электронно-счетный частотомер Ч3-30, у которого нестабильность частоты кварцевого генератора составляет 5×10^{-9} за сутки.

Сравнение производится следующим образом. Частота 100 кГц, снимаемая с делителя частоты, подается на вход усилителя вертикального отклонения контрольного осциллографа, а частота 100 кГц от эталона частоты — на вход усилителя горизонтального отклонения. Погрешность частоты кварцевого генератора определяется по скорости вращения фигуры Лиссажу на экране осциллографа.

Если полный оборот фигуры Лиссажу на экране ЭЛТ происходит за время t в секундах, то абсолютная погрешность частоты генератора в герцах будет:

$$\Delta f = 1/t. \qquad (5)$$

Допустимой погрешностью частоты кварцевого генератора следует считать такую, при которой один оборот фигуры Лиссажу происходит за время не менее 100 с. Если время оборота меньше указанного, необходимо подстроить частоту. Увеличить частоту кварцевого генератора можно путем уменьшения толщины серебряного покрытия резонатора (стиранием чернильной резинкой) или подбором конденсатора 8-$C4$ (см. рис. 11), включенного последовательно с кварцем. Для понижения частоты втирают в покрытие припой или увеличивают толщину серебряного покрытия гальваническим способом.

Корректировать частоту генератора можно и по сигналам точного времени. При этом добиваются, чтобы показание частотомера в режиме непрерывного счета за 5 ч работы было бы равно 18 000. Для осуществления режима непрерывного счета вход *4* микросхемы 8-MO_{46} отключается от схемы автоматики, а на вход *5* подаются импульсы частотой 1 Гц с выхода $F_{ст}$.

ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА

С помощью осциллографа можно измерять: амплитуду периодических и импульсных сигналов, ток, мощность, временные параметры сигналов, частоту периодических колебаний, фазовый сдвиг между периодическими колебаниями одинаковой частоты, глубину амплитудной модуляции.

Осциллограф можно использовать в качестве нуль-индикатора при измерении сопротивлений, индуктивностей и емкостей; для наблюдения характеристик электровакуумных и полупроводниковых приборов; для исследования интегральных схем; для снятия амплитудно-частотной характеристики радиоустройств; для проверки, настройки и ремонта разнообразной электронной аппаратуры.

Измерение амплитуды входного сигнала с помощью осциллографа в общем случае сводится к определению размера l осциллограммы по вертикали и вычислению амплитуды U_m по известной чувствительности канала вертикального отклонения A_Y:

$$U_m = l/A_Y. \qquad (6)$$

Для определения действующего напряжения $U_д$ сигнала синусоидальной формы размер осциллограммы l измеряют от пика до пика, а вычисления производят по формуле

$$U_д = \frac{l}{2\sqrt{2}A_Y}. \qquad (7)$$

Так как рассматриваемый осциллограф снабжен масштабной сеткой, установленной перед экраном ЭЛТ, то процесс измерения значительно облегчается. В данном случае сетка служит шкалой, по которой измеряется напряжение. Оно будет равно произведению отклонения луча на цену деления, указанную на переключателе аттенюатора.

Перед проведением измерения амплитуды исследуемого сигнала обязательно проверяют калибровку чувствительности усилителя вертикального отклонения по калибратору амплитуды.

Измерение амплитуды сигнала можно проводить при работе осциллографа как в одноканальном, так и в трехканальном режиме. В последнем случае перед измерением калибруется величина перемещения линий развертки каналов относительно друг друга в вольтах, а затем измеряются амплитуды исследуемого сигнала путем сравнения с величиной перемещения измерительной линии, которая может устанавливаться на интересующий уровень (U_1 и U_2 на рис.

27). При этом развертка осциллографа синхронизируется исследуемым сигналом.

Значительно точнее измерить амплитуду сигнала можно таким способом: на один из входов коммутатора подают исследуемый сигнал, а на другой — калиброванный сигнал переменного или постоянного напряжения, которое можно плавно изменять и контролировать по вольтметру. Изменением амплитуды калиброванного сигнала добиваются равенства изображений исследуемого и калиброванного сигналов по высоте, предварительно совместив обе линии развертки. Для увеличения точности измерений можно поменять сигналы местами, т. е. подать калиброванный сигнал на тот вход, на который подавался исследуемый сигнал, а исследуемый — на место калиброванного. Результат измерения определяют как среднее арифметическое двух измерений. Погрешность измерения амплитуды таким методом достигает 2—3%.

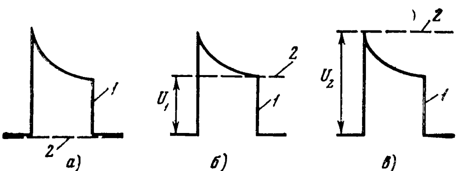


Рис. 27. Измерение амплитуды импульсов.

1 — осциллограмма исследуемого сигнала; 2 — линия развертки соседнего канала.

Измерение тока с помощью осциллографа производят путем измерения падения напряжения на известном сопротивлении. Измерив по осциллографу напряжение U и зная сопротивление резистора R, находят ток по формуле

$$I = U/R. \quad (8)$$

При этом сопротивление резистора, на котором падает напряжение, пропорциональное измеряемому току, должно быть намного меньше сопротивления исследуемой цепи, чтобы не нарушалась работа схемы.

Мощность, рассеиваемую на нагрузке $R_н$, можно измерить, подключив осциллограф параллельно $R_н$. При этом сопротивление резистора $R_н$ должно быть известно.

Определив с помощью осциллографа амплитуду напряжения U, мощность вычисляют по формуле

$$P = U^2/R_н. \quad (9)$$

Временны́е параметры исследуемых сигналов измеряют с помощью масштабной сетки ЭЛТ как произведение цены деления шкалы на длину измеряемого интервала времени на экране трубки по горизонтали. Длительность развертки при этом должна быть предварительно откалибрована.

Перед измерением переключатель длительности и переключатель множителя развертки должны быть установлены в такое положение, чтобы измеряемый интервал времени занимал на экране ЭЛТ не менее четырех делений шкалы. Точность измерения временных интервалов увеличивается при увеличении длины измеряемого расстояния на экране ЭЛТ, поэтому необходимо правильно выбрать рабочую длительность развертки.

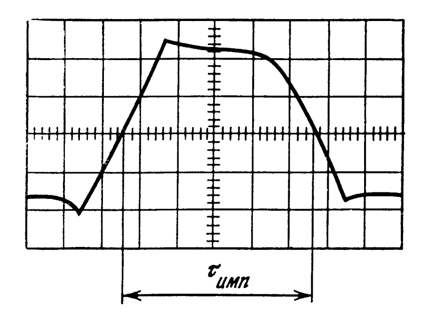


Рис. 28. Определение временных параметров сигнала по калиброванной развертке.

Для уменьшения погрешности измерения за счет толщины линии измерения производят или по правым, или по левым краям линий изображения (рис. 28).

Частоту сигнала f на экране ЭЛТ можно определить, измерив предварительно его период T:

$$f = 1/T. \quad (10)$$

При наличии масштабной сетки и калиброванной по длительности развертки периодического сигнала измерение частоты можно уточнить следующим простым способом. Определяют длительность T_n целого числа периодов n исследуемого сигнала, укладывающихся на экране ЭЛТ. Искомую частоту сигнала находят из выражения

$$f=n/T_n. \qquad (11)$$

Частота исследуемого сигнала может быть измерена с высокой точностью встроенным частотомером и значение ее отсчитано на цифровом индикаторе. Переключатель рода работы частотомера должен быть установлен при этом в положение *Измерение F*.

Фазовый сдвиг между двумя синусоидальными напряжениями одинаковой частоты можно определить по фигуре Лиссажу, наблюдаемой на экране ЭЛТ. Для этого на усилители вертикального и горизонтального отклонения подают напряжения, сдвиг фазы между которыми необходимо измерить. Если частота исследуемых напряжений одинакова и между ними существует некоторый фазовый сдвиг, то на экране осциллографа получится эллипс.

Фазовый угол определяют по отношению части длины пересекающей эллипс какой-либо оси координат (абсциссы или ординаты) к размеру эллипса вдоль соответствующей координаты (рис. 29,*а*):

$$\varphi = \arcsin\frac{a}{A} = \arcsin\frac{b}{B}. \qquad (12)$$

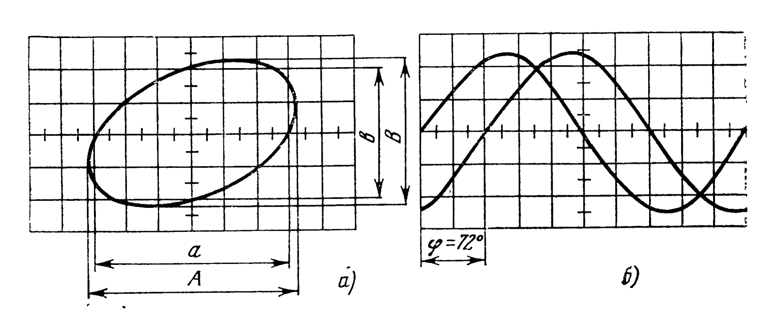


Рис. 29. Определение фазового сдвига между напряжениями.

Чтобы найти центр эллипса и определить линейные размеры проекций A и B, поступают следующим образом: отключив сигнал от входа канала горизонтального отклонения и сохраняя сигнал на входе канала вертикального отклонения, получают изображение в виде вертикальной прямой, линейный размер которой равен B. Смещением луча по горизонтали совмещают прямую с вертикальной осью сетки ЭЛТ. Затем, отключив сигнал от входа канала Y и подав его на вход канала X, получают развертку в виде горизонтальной прямой, линейный размер которой равен A. Смещением луча по вертикали совмещают прямую с горизонтальной осью. В результате этого при подаче обоих исследуемых напряжений на осциллограф центр эллипса будет находиться в середине масштабной сетки ЭЛТ.

Рассмотренным способом можно измерить фазовый угол от 0 до 180° с погрешностью 5—10%.

Фазовый угол можно измерить непосредственно по шкале ЭЛТ, если исследуемые сигналы подать на осциллограф через коммутатор при внешней синхронизации одним из сигналов. Длительность развертки подбирают так, чтобы один период синусоидального сигнала соответствовал, например, десяти делениям. В этом случае цена деления будет равна 36°. Совместив оба изображения по высоте (рис. 29,*б*), измеряют расстояние в делениях шкалы между соответствующими точками двух изображений. Умножая полученное расстояние на цену деления, получают фазовый сдвиг в градусах.

Глубину амплитудной модуляции можно измерить, включив прибор по схемам, показанным на рис. 30. Первую (рис. 30,*а*) используют, когда источником амплитудно-модулированного сигнала является генератор со встроенным модулятором.

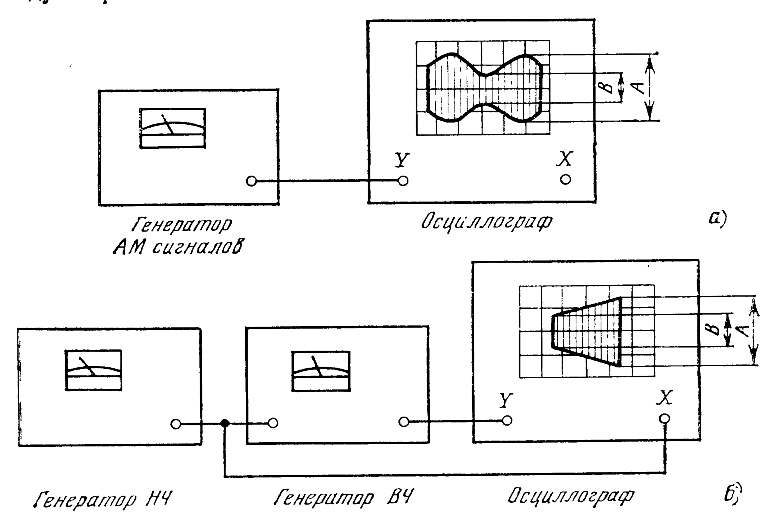


Рис. 30. Измерение глубины амплитудной модуляции.

Получив на экране осциллографа изображение модулированного сигнала, глубину модуляции определяют по формуле

$$m = \frac{A - B}{A + B} 100\%, \tag{13}$$

где A — максимальное изображение модулированного сигнала, мм; B — минимальное изображение модулированного сигнала, мм.

Если генератор низкой частоты (модулятор) имеет отдельный выход, глубину модуляции можно измерить по схеме на рис. 30,*б*, при этом напряжение от генератора низкой частоты подают на вход канала X, а напряжение генератора высокой частоты — на вход канала Y. Генератор развертки осциллографа в этом случае отключают. На экране ЭЛТ будет наблюдаться осциллограмма, имеющая вид трапеции.

Погрешность измерения глубины амплитудной модуляции определяется в основном правильностью отсчетов значений A и B и составляет около $\pm 5\%$.

В некоторых случаях верхняя и нижняя стороны трапеции имеют форму, отличную от прямой линии, что объясняется наличием некоторого фазового сдвига между низкочастотными и высокочастотными сигналами.

В качестве нуль-индикатора осциллограф используют в мостовых схемах, когда требуется измерить сопротивление, индуктивность или емкость. Пример использования осциллографа для измерения емкости показан на рис. 31. В верхнее левое плечо моста включен измеряемый конденсатор C_x, а в верхнее правое плечо — образцовый конденсатор C_1. Если мост не сбалансирован по напряжению (не скомпенсировано сопротивление потерь R_x) и по фазе (не скомпенсирована емкость C_x), то на экране осциллографа наблюдается эллипс. С помощью потенциометра R_1 выравнивают напряжение, питающее мост, в результате чего на экране ЭЛТ получается осциллограмма, имеющая вид наклонной прямой линии. Затем, регулируя образцовую емкость C_1, добиваются равенства фаз в плечах с реактивными элементами, вследствие чего в диагонали

моста AB исчезает ток разбаланса и осциллограмма принимает вид горизонтальной линии, что свидетельствует о полном балансе моста:

$$C_x = \frac{R_2}{R_3} C_1 ; \; R_x = \frac{R_3}{R_2} R_1 . \tag{14}$$

В большинстве случаев не всегда удается полностью скомпенсировать сопротивление потерь R_x, и осциллограмма вследствие этого имеет форму сильно вытянутого эллипса. Момент наибольшего приближения моста к балансу можно увидеть при максимальном усилении сигналов в обоих каналах осциллографа.

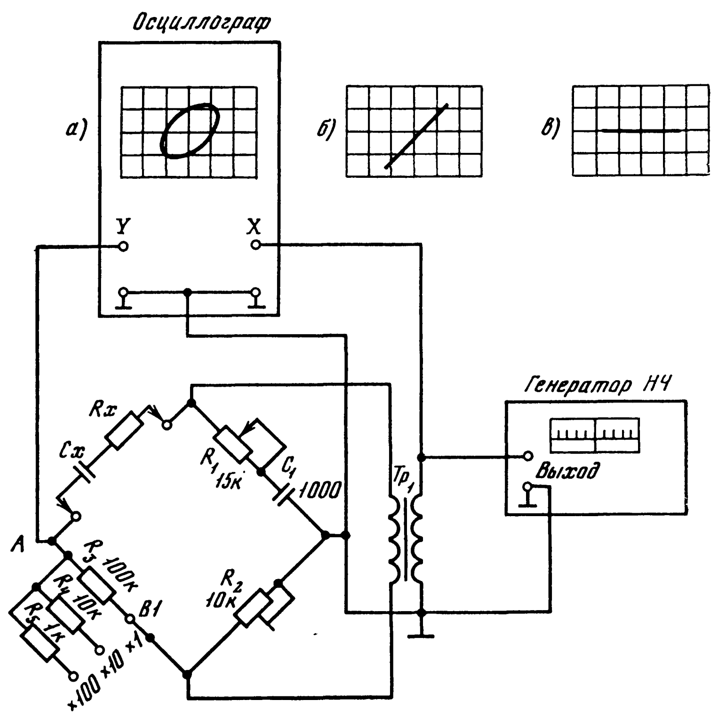


Рис. 31. Измерение емкости с помощью осциллографа.

Амплитудно-частотную характеристику какого-либо радиоустройства, содержащего резонансную колебательную систему, например полосовой фильтр, можно снять, используя измерительную схему, состоящую из осциллографа, генератора качающейся частоты (ГКЧ) и детектора с усилителем низкой частоты (рис. 32,*а*).

Генератор качающейся частоты представляет собой высокочастотный генератор, частота которого периодически изменяется под действием модулирующего сигнала.

Огибающая сигнала на выходе исследуемой резонансной системы, выделяемая детектором, имеет вид, соответствующей ее АЧХ. Если частота генератора находится в пределах полосы пропускания осциллографа, то детектор можно не применять, при этом осциллограмма примет вид, показанный на рис 32,*б*. При снятии АЧХ модулирующий сигнал подают или на вход канала Y осциллографа, или используют его для синхронизации от внутренней развертки. При этом горизонтальная ось ЭЛТ становится осью частот, по которой можно определить резонансную частоту и полосу пропускания исследуемой системы.

Полосу пропускания исследуемой системы (например, УПЧ) определяют по масштабной сетке ЭЛТ по известной цене ее деления. Оценку полосы пропускания производят на уровне 0,7 от максимального значения наблюдаемой амплитуды.

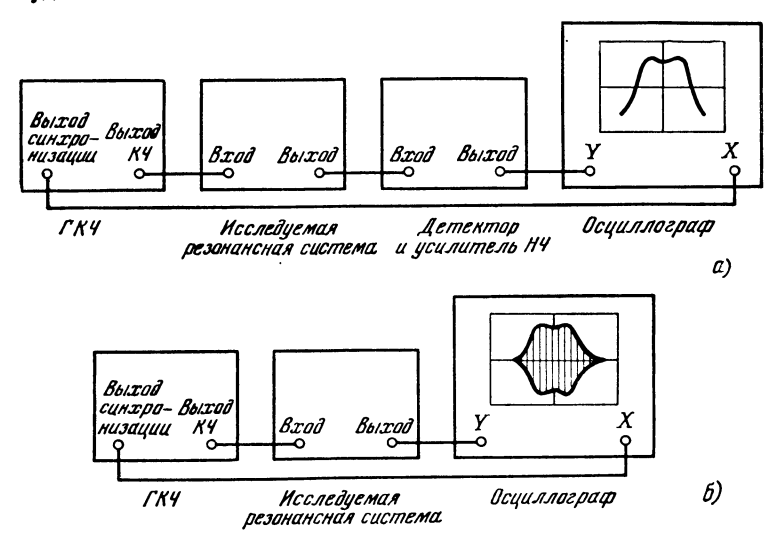


Рис. 32. Схемы для наблюдения АЧХ с использованием усилителя и детектора *(а)* и при непосредственном соединении исследуемого устройства с осциллографом *(б)*.

На изображение АЧХ обычно накладывают маркерные метки, соответствующие известным значениям частоты. В простейшем случае для этого к настраиваемому контуру подносят колебательный контур высокой добротности, настроенный на определенную частоту. Когда частота ГКЧ в процессе ее изменения будет проходить через резонансную частоту данного контура, вследствие «отсоса» контуром энергии на осциллограмме появится характерный провал.

Более совершенным является формирование меток с помощью кварцевого генератора, создающего колебания с большим числом гармоник, кратных частоте кварца. Когда частота ГКЧ совпадает с частотой гармоники кварцевого генератора, на нагрузке смесителя (к которому одновременно подводятся оба колебания) выделяется низкочастотное напряжение биений, поступающее на вход канала *Y* осциллографа и создающее метки на изображении АЧХ.

Использование коммутатора позволяет оценивать АЧХ резонансной системы гораздо точнее, если изображение АЧХ рассматривать на «фоне» сигнала эталонной частоты, подаваемого на один из входов коммутатора, т. е. в этом случае сигналы с выхода исследуемой резонансной системы подаются на вход *А*, а сигнал эталонной частоты на вход *В* или *С*.

В качестве источника эталонной частоты используется кварцевый генератор частотомера.

Амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики какого-либо четырехполюсника, например усилителя ВЧ или НЧ сигналов, можно приближенно оценить путем подачи на него периодической последовательности импульсов прямоугольной формы. Выбор данного типа сигнала обусловлен тем, что прямоугольные импульсы имеют достаточно широкий спектр частот и, следовательно, если через исследуемый четырехполюсник прямоугольный импульс пройдет удовлетворительно, то сигналы другой формы с более узким спектром исказятся меньше.

По виду искажений прямоугольного импульса — растягиванию фронта или спада, по наклону вершины, верхним и нижним выбросам — можно судить о частотных и фазовых искажениях, вносимых исследуемым устройством.

Генератор прямоугольных импульсов, используемый для исследования четырехполюсника, должен удовлетворять следующим требованиям: фронт импульсного напряжения должен быть во много раз меньше постоянной времени входной цепи четырехполюсника; частота следования импульсов должна регулироваться в широких пределах, импульсное напряжение должно иметь плоскую вершину.

Частота следования прямоугольных импульсов выбирается исходя из назначения устройства. Для проверки усилителя низкой частоты, предназначенного для работы в полосе частот от 30 Гц до 12 кГц, достаточно подать на его вход импульсы прямоугольной формы с частотой следования 25—30 и 800—1000 Гц.

При исследовании видеоусилителей с полосой пропускания от 50 Гц до 5 МГц можно использовать импульсы прямоугольной формы с частотой следования 50 Гц и 200—250 кГц. Схема стенда для исследования АЧХ и ФЧХ какого-либо усилителя показана на рис. 33. В состав стенда входят: исследуемый усилитель, генератор прямоугольных импульсов и осциллограф. При этом на осциллограф одновременно подаются два сигнала — контрольный (непосредственно с выхода генератора) и исследуемый (с выхода усилителя). Применение коммутатора позволяет сравнивать их между собой и нагляднее оценить искажения, вносимые усилителем.

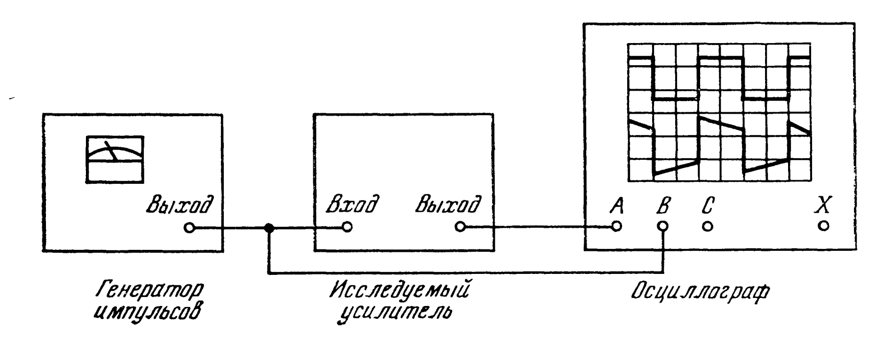


Рис. 33. Схема для определения АЧХ и ФЧХ устройств с помощью импульсных сигналов.

Несколько типичных осциллограмм, наблюдаемых при различных искажениях прямоугольного импульса, показано на рис. 34.

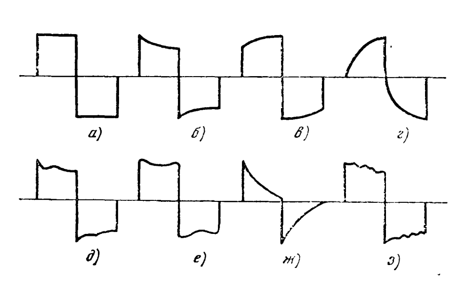


Рис. 34. Определение АЧХ по осциллограммам.

Осциллограмма на рис. 34,*б* свидетельствует о том, что в области низких частот составляющие спектра входного сигнала ослабляются (завал частотной характеристики на низких частотах); осциллограмма рис. 34,*в* указывает на усиление в области низких частот (подъем частотной характеристики на низких частотах).

Если усилитель заваливает высокие частоты, т. е. имеет узкую полосу пропускания, осциллограмма имеет вид, показанный на рис. 34,*г*. Неравномерность усиления в полосе частот отобразится на осциллограмме в виде выбросов (рис. 34,*д*). При искажении, характерном для провала частотной характе-

ристики в области средних и низких частот, изображение будет иметь вид, показанный на рис. 34,*е*. В том случае, когда постоянная времени цепей *RC* межкаскадной связи мала, входной сигнал дифференцируется и принимает форму, изображенную на рис. 34,*ж*.

При наличии резонирующих цепей, создающих подъем усиления на какой-либо частоте, лежащей вне АЧХ, осциллограмма примет вид волнистой линии (рис. 34,*з*). В некоторых случаях перечисленные искажения могут наблюдаться в различных сочетаниях.

Для исследования АЧХ радиотехнических устройств можно использовать генератор прямоугольных импульсов, схема которого показана на рис. 35.

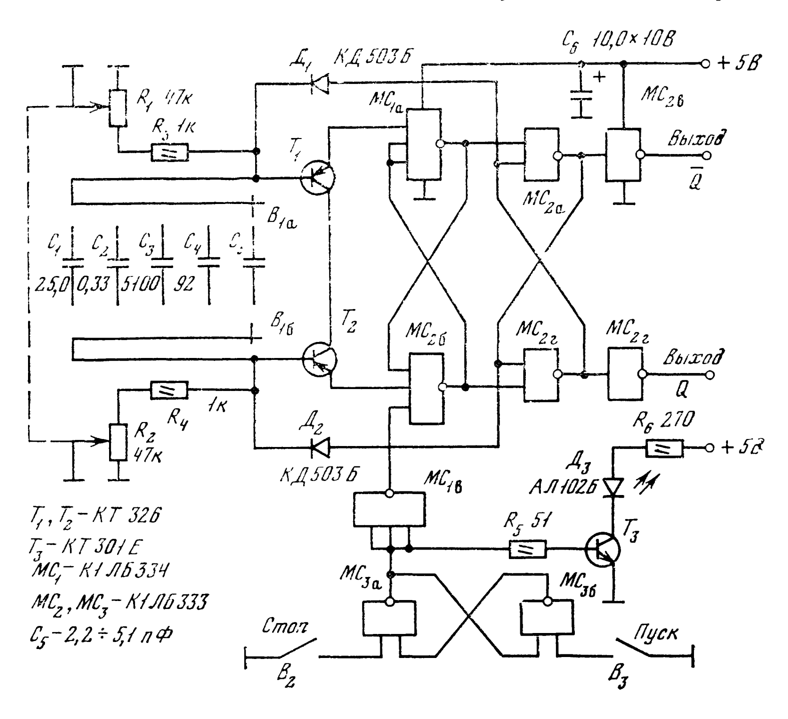


Рис. 35. Принципиальная схема генератора прямоугольных импульсов.

Генератор выполнен на двух транзисторах и интегральных ТТЛ схемах по схеме симметричного мультивибратора и вырабатывает прямоугольные импульсы с крутыми фронтами в диапазоне частот от 0,2 Гц до 15 МГц. Весь диапазон разбит на пять поддиапазонов: 0,2—15, 15—950 Гц; 0,8—55 кГц; 55 кГц—2,75 МГц; 0,5—15 МГц, выбираемых переключателем B_1. Плавное изменение частоты внутри каждого поддиапазона производится с помощью сдвоенного потенциометра R_1, R_2.

Пуск и остановка генератора осуществляются с помощью стартстопного устройства, собранного на $МС_{3а}$ и $МС_{3б}$. Индикатор, выполненный на транзисторе T_3 и светодиоде $Д_3$, служит для контроля работы генератора. Так как запуск генератора происходит при поступлении на вход микросхемы $МС_{1в}$ сигнала логического нуля, то при нормальной работе генератора светодиод $Д_3$ не светится. При появлении на входе микросхемы $МС_{1в}$ сигнала *1* транзистор T_3 открывается и через светодиод $Д_3$ начинает протекать ток, вызывающий его свечение, что указывает на отсутствие колебаний генератора, так как нулевой потенциал на выходе $МС_{1в}$ блокирует мультивибратор.

Наблюдение вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов на экране ЭЛТ можно осуществить с помощью схемы, приведенной на рис. 36. Эта схема позволяет получить входные характеристики транзистора $U_Б=f(I_Б)$

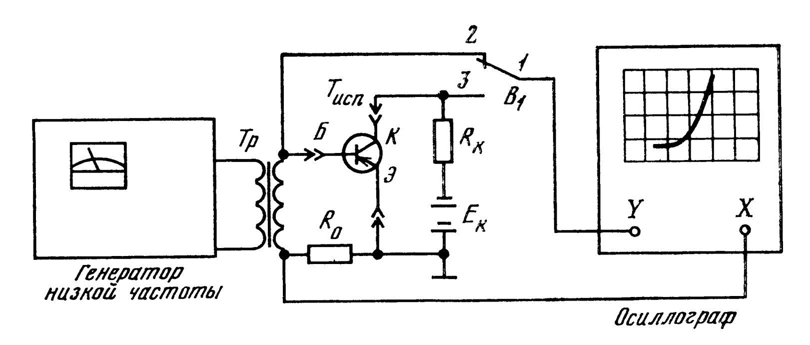


Рис. 36. Схема для снятия характеристик транзисторов.

при постоянном напряжении коллектора $E_к$=const и характеристику прямой передачи по току $I_К=f(I_Б)$.

При снятии обеих характеристик напряжение развертки снимается с резистора R_0. Так как оно создается током базы, то горизонтальное отклонение пропорционально этому току. Когда переключатель B_1 находится в верхнем по схеме положении, на вход канала вертикального отклонения поступает напряжение $U_Б$. В нижнем положении переключателя на вход канала Y подается напряжение, создаваемое током коллектора $I_К$ на резисторе $R_К$. Устанавливая различные значения $E_К$, можно получить семейство характеристик.

Для снятия семейства характеристик транзисторов различных типов, в том числе и полевых, включаемых по схеме с общим истоком, а также для исследования диодов и стабилитронов, можно использовать приставку-характериограф, схема которой приведена на рис. 37.

В этой схеме развертка луча по горизонтали осуществляется пульсирующим напряжением, которое одновременно подается и на коллектор испытуемого транзистора (рис. 38). Формирование тока ступенчатой формы, подаваемого в цепь базы, производится с помощью генератора ступенчатого напряжения, что обеспечивает одновременное наблюдение коллекторных характеристик при различных токах базы.

Зависимость коллекторного тока от тока базы просматривается на экране ЭЛТ в форме падения напряжения, снимаемого с эмиттерного резистора и поступающего на вход канала вертикального отклонения (рис. 37).

Как видно из принципиальной схемы, переменное напряжение, которое снимается с обмотки *III* трансформатора $Тр_1$ и выпрямляется двухполупериодным выпрямителем, используется для формирования импульсов частотой 100 Гц. Эти импульсы служат для запуска формирователя ступенчатого напряжения, состоящего из формирователя коротких импульсов положительной полярности (T_2, $МС_{1а}$), формирователя меандра (T_3, $МС_{1б}$, $МС_{1в}$), двоичного счетчика ($МС_3$, $МС_4$), согласующих инверторов ($МС_{1г}$, $МС_{2а}$, $МС_{2б}$), формирователя ступенчатого тока (T_6 — T_8) и выходных эмиттерных повторителей, обеспечивающих необходимое согласование нагрузки с формирователем ступенчатого напряжения.

Требуемый режим питания базы испытуемого транзистора устанавливается с помощью переключателя B_2 путем подключения добавочных резисторов R_{21}—R_{24} и R_{28}—R_{31}; например, если поставить переключатель B_2 в положение, указанное на схеме, то ток базы для каждой характеристики, наблюдаемой на экране ЭЛТ, будет отличаться от соседней на 1 мА. Амплитуду выходного ступенчатого напряжения, снимаемого с коллекторов транзисторов T_6—T_8, можно регулировать переменным резистором R_{16}.

Источник питания коллекторной цепи исследуемого транзистора и входов осциллографа собран по мостовой схеме на диодной сборке $Д_{18}$. Необходимая амплитуда пульсирующего напряжения может устанавливаться с помощью потенциометра R_{14}. Для изменения полярности коллекторного напряжения в зависимости от типа испытуемого транзистора служит переключатель B_5. Выбор схемы включения испытуемого полупроводникового прибора осуществляется переключателем B_3.

Напряжение, пропорциональное току коллектора, снимается с резисторов R_{32}—R_{35} с помощью переключателя B_4. Поступая на вход канала вертикального отклонения осциллографа, это напряжение создает изображение характеристик исследуемого полупроводникового прибора на экране ЭЛТ.

Осциллограммы в контрольных точках приставки-характериографа показаны на рис. 39, а токи коллекторов транзисторов T_6—T_8, протекающие через общую нагрузку, в зависимости от логического состояния инверторов $МС_{1г}$, $МС_{2а}$ и $МС_{2б}$ приведены в табл. 17. Коммутация переключателей B_3 и B_5 для

Таблица 17

Состояние логических элементов			Токи коллекторов транзисторов			Суммарный ток ступеньки на базе T_7
$МС_{1а}$	$МС_{1б}$	$МС_{1в}$	T_4	T_5	T_6	
1	1	1	1,1	2,2	4,4	7,7
0	1	1	0	2,2	4,4	6,6
1	0	1	1,1	0	4,4	5,5
0	0	1	0	0	4,4	4,4
1	1	0	1,1	2,2	0	3,3
0	1	0	0	2,2	0	2,2
1	0	0	1,1	0	0	1,1
0	0	0	0	0	0	0

выбранной схемы включения испытуемого полупроводникового прибора показана в табл. 18.

Для удобства чтения характеристик, отображаемых на экране ЭЛТ, в табл. 19 содержится перевод цены деления шкалы трубки из милливольт на сантиметр в миллиамперы на сантиметр в зависимости от положения переключателя B_4.

Намоточные данные трансформатора блока питания характериографа приведены в табл. 20.

Динамические параметры интегральных ТТЛ схем и транзисторов — определение времени задержки включения и передаточной характеристики — можно измерить по схеме, приведенной на рис. 40.

На вход исследуемой микросхемы от генератора импульсов подают положительные сигналы амплитудой от 3,5 до 5 В большой скважности с крутым передним фронтом и длительностью около 2—5 мкс. Сравнив сигналы на входе и выходе логической схемы, оценивают время задержки сигнала по шкале ЭЛТ. При этом измерении используют коммутатор, на один из входов которого подают сигнал, поступающий на вход логической схемы, а на другой — сигнал с ее выхода.

На подобном стенде можно получить и передаточную характеристику транзистора. Для этого на исследуемый транзистор подают сигнал большой скважности с крутым передним фронтом и амплитудой в несколько сотых долей вольта. На выходе будет наблюдаться импульс с относительно большим фронтом, протяженность которого позволит охарактеризовать транзистор с точки зрения применения его в быстродействующих импульсных схемах.

Осциллографические методы измерений и исследований не ограничиваются рассмотренными. Осциллограф с успехом можно использовать не только для измерения электрических, но и неэлектрических величин, которые предварительно преобразуются в пропорциональные им электрические сигналы.

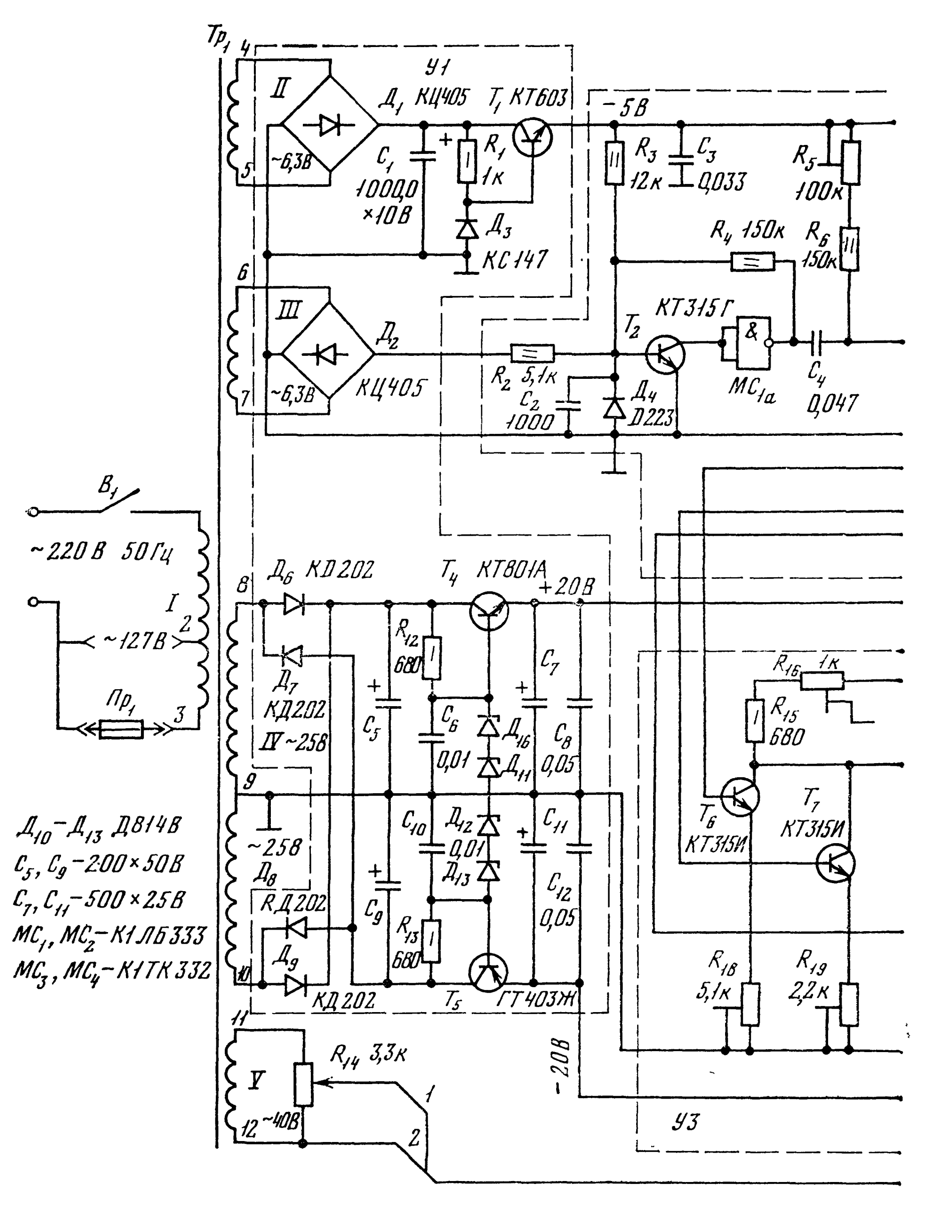
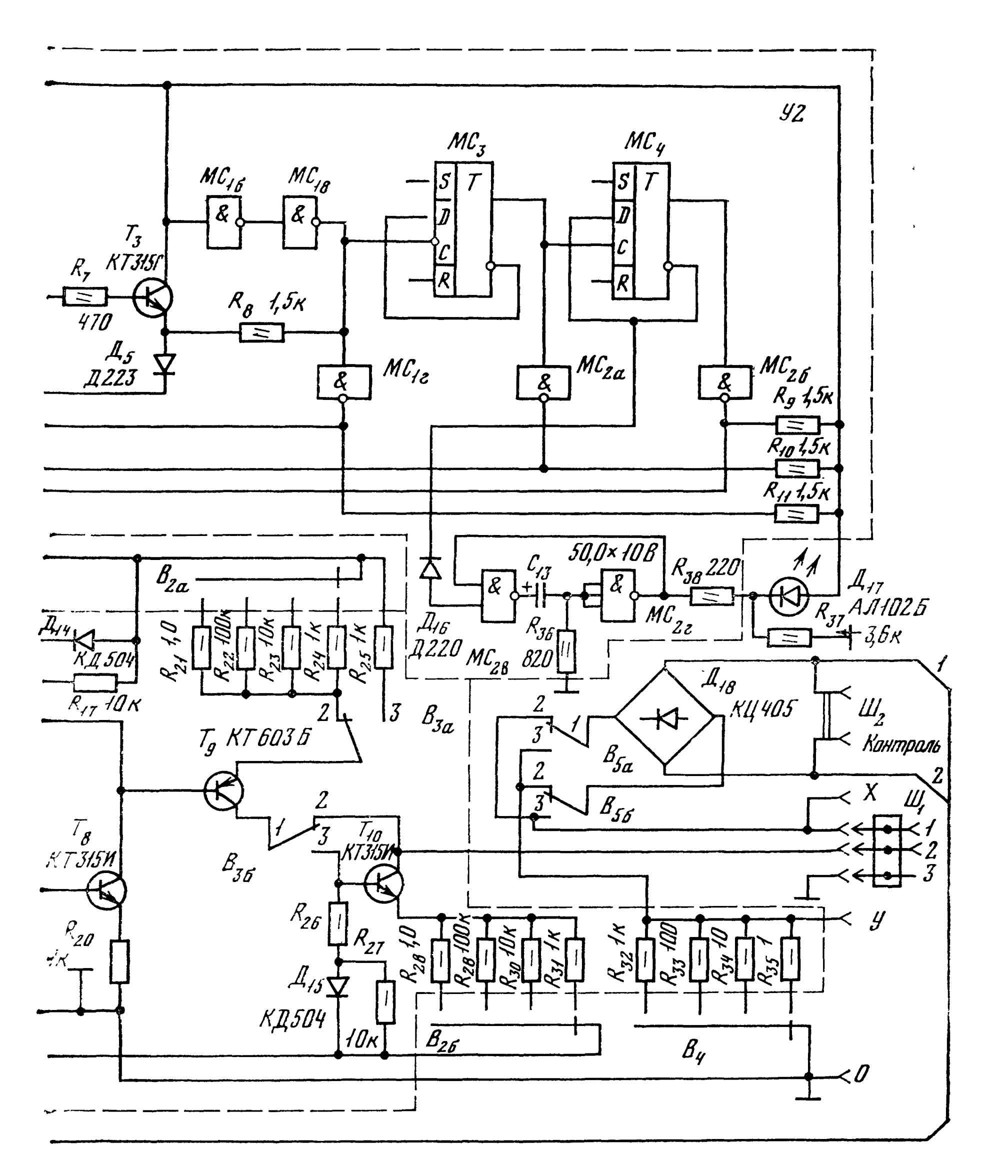


Рис. 37. Принцип измерения характеристик транзисторов с помощью приставки·



характериографа.

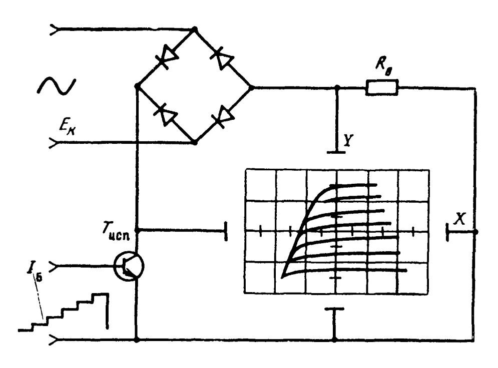


Рис. 38. Принципиальная схема приставки-характериографа.

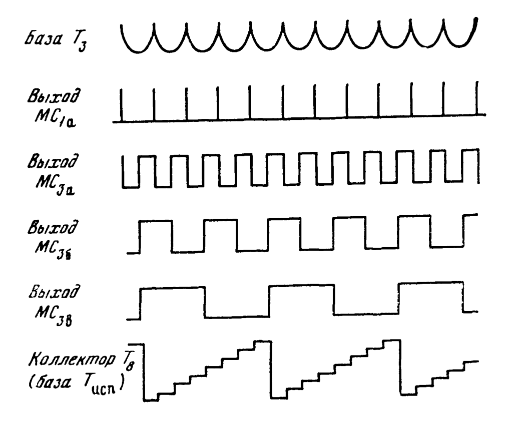


Рис. 39. Осциллограммы приставки-характериографа.

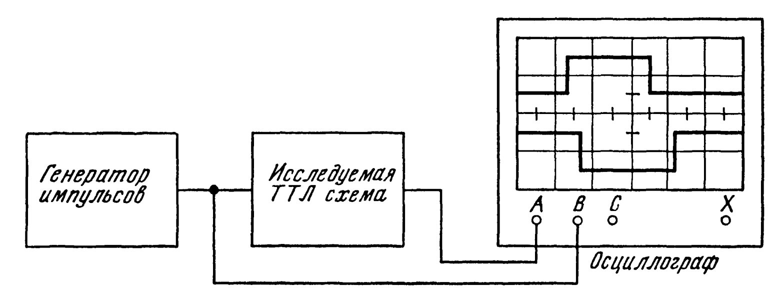


Рис. 40. Схема для определения динамических параметров ТТЛ схем и транзисторов.

Таблица 18

Элемент	Схема включения	Положение B_3	Положение B_5
n-p-n транзистор (схема с общим эмиттером)		2	2
n-p-n транзистор (схема с общей базой)		3	2
p-n-p транзистор (схема с общим эмиттером)		3	3
p-n-p транзистор (схема с общей базой)		2	3
Полевой транзистор (канал *n*), схема с общим эмиттером		3	2
Полевой транзистор (канал *p*), схема с общим истоком		2	3
Диод		Любое	3
Стабилитрон		Любое	2

Во многих случаях осциллограф является частью более сложной измерительной аппаратуры, примером которой могут служить анализаторы спектра, характериографы, измерители частотных характеристик, панорамные индикаторы, приборы для настройки телевизионной и радиоприемной аппаратуры, измерительные генераторы и некоторые другие приборы.

Таблица 19

Чувствительность канала Y, мВ/см	Положение переключателя B_1				Цена деления
	1	2	3	4	
10	10	100	1000	10000	мкА/см
30	0,03	0,3	3	30	мА/см
100	0,1	1	10	100	мА/см
300	0,3	3	30	300	мА/см

Таблица 20

Обмотка	Марка и диаметр провода, мм	Количество витков	Напряжение, В
I	ПЭТВ-0,12	2380	220
II	ПЭТВ-0,27	85	6,3
III	ПЭТВ-0,12	85	6,3
IV	ПЭТВ-0,27	325×2	25
V	ПЭТВ-0,18	532	40

Примечание. Трансформатор выполнен на броневсм магнитопроводе Ш16×24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бездельев Ю. В. Малогабаритные любительские электроизмерительные приборы. — М.: Энергия, 1972.

Буклер И. Н. и др. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. — М.: Советское радио, 1975.

Бирюков С. Цифровой частотомер. — Радио, 1975, № 3.

Голубев В. Полупроводниковый осциллограф. — Радио, 1968, № 8.

Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных приборах. — Л.: Энергия, 1974.

Горн Л. С., Хазанов Б. И. Узлы радиометрической аппаратуры на интегральных схемах. — М.: Атомиздат, 1973.

Кузнецов А. С. Портативные любительские осциллографы. — М.: Энергия, 1975.

Новопольский В. А. Электронно-лучевой осциллограф. М.: Энергия, 1969.

Редькина Л. И., Редькин Б. Е. Электронные коммутаторы к осциллографам. — М.: Энергия, 1969.

Ремез Г. А. Радиоизмерения. — М.: Связь, 1966.

Соловов В. Я. Осциллографические измерения. — М.: Энергия, 1975.

Тычино К. К. Цифровые частотомеры на транзисторах. — М.: Энергия, 1971.

Хулдеев В., Миронов В. Транзисторный осциллограф. — Радио, 1976, № 6.

Чех И. Осциллограф в измерительной технике. — М.: Энергия, 1965.

Шило В. Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Советское радио, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АЛЬФРЕД СТЕПАНОВИЧ КУЗНЕЦОВ

ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Редактор Б. Е. Редькин. Редактор издательства Т. В. Жукова.

Художественный редактор Г. Н. Кованов.

Технический редактор Т. Н. Зыкина. Корректор Л. В. Алексеева.

ИБ № 1670 (Энергия)

Сдано в набор 9.06.81 г. Подписано в печать 08.09.81 г.
Т-25422 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага тип. № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. п. л. 4,5 Уч.-изд. л. 5,81 Усл. кр.-отт. 4,875 Тираж 50 000 экз.
Изд. № 19429 Зак. № 95 Цена 45 к.
Издательство «Радио и связь», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
Москва 101000, ул. Кирова, д. 40

45 к.

"РАДИО И СВЯЗЬ"